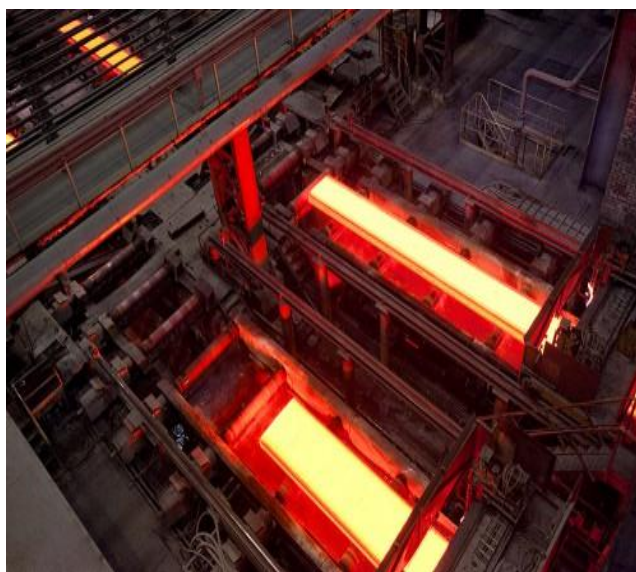


**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Филиал КФУ в г. Чистополе**

Л.П.СОЛОШЕНКО

**ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ
МАТЕРИАЛОВ**



Конспект лекций

Казань-2013

Солошенко Л.П.

Технология конструкционных материалов. Конспект лекций/ Л.П.Солошенко,;
Каз.федер. ун.- т, — Казань, 2013.— 90с.

В предлагаемых лекциях рассмотрены современные технологические способы производства черных и цветных металлов, изготовление заготовок и деталей машин из металлов и неметаллических материалов: литьем, обработкой давлением, сваркой, резанием и другими способами. Подготовленный материал можно изучать самостоятельно, выполняя предлагаемые задания и проводя самоконтроль усвоения материала.

Принято на заседании кафедры механизация агропромышленного комплекса
Протокол № 1 от 20 .09.2013

© Казанский федеральный университет

© Солошенко Л.П.

Содержание

1. Тема 1. Введение, основные понятия. Основы производства черных и цветных металлов.....	6
1.1. Введение.....	6
1.2. Материалы для производства металлов и сплавов.....	6
1.3. Производство чугуна.....	7
1.4. Производство стали.....	9
1.5. Разливка стали и получение слитков. Способы повышения качества стали.....	13
1.6. Вопросы самопроверки.....	14
1.7. Глоссарий по теме.....	15
1.8. Используемые информационные ресурсы.....	18
1.9. Список сокращений.....	18
2. Тема 2. Основы литейного производства.....	19
2.1. Классификация способов получения заготовок. Общая характеристика основных технологий получения заготовок и деталей в машиностроении.....	19
2.2. Общая характеристика литейного производства.....	20
2.3. Изготовление отливок в песчаных формах.....	21
2.4. Изготовление отливок в постоянных (металлических) формах: в кокиль, под давлением, центробежным способом.....	26
2.5. Технологические возможности различных способов получения отливок и области применения.....	30
2.6. Вопросы самопроверки.....	35
2.7. Глоссарий по теме 2.....	35
2.8. Используемые информационные ресурсы.....	37
3. Тема 3. Основы обработки металлов давлением.....	38
3.1. Общая характеристика обработки металлов давлением.....	38
3.2. Основные виды ОМД. Прокатное производство.....	40
3.3. Прессование и волочение.....	45
3.4. Ковка.....	47
3.5. Сущность и разновидность объемной штамповки. Листовая штамповка.....	49
3.6. Вопросы самопроверки.....	52
3.7. Глоссарий по теме 3.....	52
3.8. Используемые информационные ресурсы.....	55
3.9. Список сокращений.....	55
4. Тема 4. Основы сварочного производства.....	56
4.1. Физические основы получения сварного соединения. Классификация способов сварки.....	56
4.2. Основные металлургические процессы в сварочной ванне.....	56
4.3. Понятие свариваемости. Технология сварки сталей и чугуна, цветных металлов.....	60
4.4. Виды сварки.....	62
4.5. Специальные термические процессы в сварочном производстве.....	65
4.6. Контроль качества сварных соединений. Техника безопасности и охрана природы при сварке.....	67
4.7. Пайка.....	68

4.8. Вопросы самопроверки.....	71
4.9. Глоссарий по теме 4.....	71
4.10. Используемые информационные ресурсы.....	74
5. Тема 5. Основы технологии обработки металлов резанием.....	74
5.1. Основные методы обработки резанием.....	74
5.2. Физические основы резания металлов.....	75
5.3. Классификация металлорежущих станков.....	79
5.4. Технологические возможности и область применения способов резания.	80
5.5. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин.....	82
5.6. Электрофизические и электрохимические методы обработки.....	83
5.7. Вопросы самопроверки.....	87
5.8. Глоссарий по теме 5.....	88
5.9. Используемые информационные ресурсы.....	89
5.10. Список сокращений.....	90

Тема 1 Введение, основные понятия. Основы производства черных и цветных металлов.

Аннотация. Данная тема раскрывает основные понятия современного металлургического производства. Предусматривается изучение производства чугуна. Стали, цветных сплавов.

Ключевые слова. *Флюсы, огнеупорные материалы, доменная печь, конвертор, мартеновская печь.*

1.1. Введение.

Современное металлургическое производство представляет собой комплекс различных производств, базирующихся на месторождениях руд и коксующихся углей, энергетических комплексах. Оно включает:

- шахты и карьеры по добыче руд и каменных углей;
- горно-обогатительные комбинаты, где обогащают руды, подготавливая их к плавке;
- коксохимические заводы (подготовка углей, их коксование и извлечение из них полезных химических продуктов);
- энергетические цехи для получения сжатого воздуха (для дутья доменных печей), кислорода, очистки металлургических газов;
- доменные цехи для выплавки чугуна и ферросплавов или цехи для производства железорудных металлизированных окатышей;
- заводы для производства ферросплавов;
- сталеплавильные цехи (конвертерные, мартеновские, электросталеплавильные);
- прокатные цехи (слиток в сортовой прокат).

Основная продукция чёрной металлургии:

- чугуны: передельный, используемый для передела на сталь, и литейный, для производства фасонных отливок;
- железорудные металлизированные окатыши для выплавки стали;
- ферросплавы (сплавы железа с повышенным содержанием марганца, кремния, ванадия, титана и т.д.) для легированных сталей;
- стальные слитки для производства проката,
- стальные слитки для изготовления крупных кованных валов, дисков (кузнечные слитки).

Основная продукция цветной металлургии:

- слитки цветных металлов для производства проката;
- слитки для изготовления отливок на машиностроительных заводах;
- лигатуры – сплавы цветных металлов с легирующими элементами для производства сложных легированных сплавов;
- слитки чистых и особо чистых металлов для приборостроения и электротехники.

1.2. Материалы для производства металлов и сплавов

Для производства чугуна, стали и цветных металлов используют руду, флюсы, топливо, огнеупорные материалы.

Промышленная руда – горная порода, из которой целесообразно извлекать металлы и их соединения (содержание металла в руде должно быть не менее 30...60 % для железа, 3...5% для меди, 0,005...0,02 % для молибдена). Руда состоит из минералов, содержащих металл или его соединения, и пустой породы. Называют руду по одному или нескольким металлам, входящим в их состав, например: железные, медно-никелевые. В зависимости от содержания добываемого элемента различают руды богатые и бедные. Бедные руды обогащают – удаляют часть пустой породы.

Флюсы – материалы, загружаемые в плавильную печь для образования легкоплавкого соединения с пустой породой руды или концентратом и золой топлива. Такое соединение называется шлаком. Обычно шлак имеет меньшую плотность, чем металл, поэтому он располагается над металлом и может быть удален в процессе плавки. Шлак защищает металл от печных газов и воздуха. Шлак называют кислым, если в его составе преобладают кислотные оксиды (SiO_2, P_2O_5), и основным, если в его составе больше основных оксидов (CaO, MgO, FeO). Вводят в виде агломерата и окатышей.

Топливо – в металлургических печах используется кокс, природный газ, мазут, доменный (колошниковый) газ. Кокс получают сухой перегонкой при температуре 1000 °С (без доступа воздуха) каменного угля коксующихся сортов. В коксе содержится 80...88 % углерода, 8...12 % золы, 2...5 % влаги. Куски кокса должны иметь размеры 25...60 мм. Это прочное неспекающееся топливо, служит не только горючим для нагрева, но и химическим реагентом для восстановления железа из руды.

Огнеупорные материалы применяют для изготовления внутреннего облицовочного слоя (футеровки) металлургических печей и ковшей для расплавленного металла.

Они способны выдержать нагрузки при высоких температурах, противостоять резким изменениям температуры, химическому воздействию шлака и печных газов. По химическим свойствам огнеупорные материалы разделяют на группы: кислые (кварцевый песок, диносовый кирпич), основные (магнезитовый кирпич, магнезитохромитовый кирпич), нейтральные (шамотный кирпич). Взаимодействие основных огнеупорных материалов и кислых шлаков, и наоборот, может привести к разрушению печи. Углеродистый кирпич и блоки содержат до 92 % углерода в виде графита, обладают повышенной огнеупорностью. Применяются для кладки лещади доменных печей, электролизных ванн для получения алюминия, тиглей для плавки и разливки медных сплавов.

1.3. Производство чугуна.

Чугун – сплав железа и углерода с сопутствующими элементами (содержание углерода более 2,14 %).

Для выплавки чугуна в доменных печах используют железные руды (магнитный железняк с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Соколовское, Курская магнитная аномалия (КМА); красный железняк с содержанием железа 55...60 %, месторождения – Кривой Рог, КМА; бурый железняк с содержанием железа 37...55 % – Керчь; марганцевые руды применяются для выплавки сплава железа с марганцем – ферромарганца, а также переловных чугунов, содержащих до 1% марганца) топливо, флюсы.

Топливом для доменной плавки служит кокс, возможна частичная замена газом, мазутом.

Флюсом является известняк $CaCO_3$ или доломитизированный известняк, содержащий $CaCO_3$ и $MgCO_3$, так как в шлак должны входить основные оксиды (CaO, MgO), которые необходимы для удаления серы из металла.

Подготовка руд к доменной плавке осуществляется для повышения производительности доменной печи, снижения расхода кокса и улучшения качества чугуна.

Метод подготовки зависит от качества руды (*дробление и сортировка* руд по крупности; *обогащение* руды основано на различии физических свойств минералов, входящих в ее состав; *окусковывание* производят для переработки концентратов в кусковые материалы необходимых размеров). При агломерации шихту, состоящую из железной руды (40...50 %), известняка (15...20 %), возврата мелкого агломерата (20...30 %), коксовой мелочи (4...6 %), влаги (6...9 %), спекают на агломерационных машинах при температуре 1300...1500 °С. При спекании из руды удаляются вредные примеси (сера, мышьяк), разлагаются карбонаты, и получается кусковой пористый офлюсованный агломерат. При окатывании шихту из измельченных концентратов, флюса, топлива увлажняют и при обработке во вращающихся барабанах она приобретает форму шариков-окатышей диаметром до 30 мм. Их высушивают и обжигают при температуре 1200...1350 °С.

Чугун выплавляют в печах шахтного типа – *доменных печах*. Сущность процесса получения чугуна в доменных печах заключается в восстановлении оксидов железа, входящих в состав руды оксидом углерода, водородом и твердым углеродом, выделяющимся при сгорании топлива.

Устройство и работа доменной печи.

Доменная печь (рис. 1.1) имеет стальной кожух, выложенный огнеупорным шамотным кирпичом. Рабочее пространство печи включает колошник 6, шахту 5, распар 4, заплечики 3, горн 1, лещади 15. В верхней части колошника находится засыпной аппарат 8, через который в печь загружают шихту. Шихту подают в вагонетки 9 подъемника, которые передвигаются по мосту 12 к засыпному аппарату и, опрокидываясь, высыпают шихту в приемную воронку 7 распределителя шихты. При опускании малого конуса 10 шихта попадает в чашу 11, а при опускании большого конуса 13 – в доменную печь, что предотвращает выход газов из доменной печи в атмосферу. При работе печи шихтовые материалы, проплавляясь, опускаются, а через загрузочное устройство подают новые порции шихты, чтобы весь полезный объем был заполнен.

Полезный объем печи – объем, занимаемый шихтой от лещади до нижней кромки большого конуса засыпного аппарата при его опускании. Полезная высота доменной печи (H) достигает 35 м, а полезный объем – 2000...5000 м³. В верхней части горна находятся фурменные устройства 14, через которые в печь поступает нагретый воздух, необходимый для горения топлива. Воздух поступает из воздухонагревателя, внутри которого имеются камера сгорания и насадка из огнеупорного кирпича, в которой имеются вертикальные каналы. В камеру сгорания к горелке подается очищенный доменный газ, который, сгорая, образует горячие газы. Проходя через насадку, газы нагревают ее и удаляются через дымовую трубу. Через насадку пропускается воздух, он нагревается до температуры 1000...1200 °С и поступает к фурменному устройству, а оттуда через фурмы 2 – в рабочее пространство печи. После охлаждения насадок нагреватели переключаются.

В результате горения выделяется большое количество теплоты, в печи выше уровня фурм развивается температура выше 2000 °С. Горячие газы, поднимаясь, отдают теплоту шихтовым материалам и нагревают их, охлаждаясь до 300...400 °С у колошника. Шихта (агломерат, кокс) опускается навстречу потоку газов, и при температуре около 570 °С начинается восстановление оксидов железа.

В нижней части доменной печи образуется шлак в результате сплавления окислов пустой породы руды, флюсов и золы топлива. Состав шлака зависит от состава применяемых

шихтовых материалов и выплавляемого чугуна. Чугун выпускают из печи каждые 3...4 часа через чугунную летку 16, а шлак – каждые 1...1,5 часа через шлаковую летку 17 (летка – отверстие в кладке, расположенное выше лещади). Летку открывают бурильной машиной, затем закрывают огнеупорной массой. Сливают чугун и шлак в чугуновозные ковши и шлаковозные чаши. Чугун поступает в кислородно-конвертерные или мартеновские цехи, или разливается в изложницы разливочной машиной, где он затвердевает в виде чушек-слитков массой 45 кг.

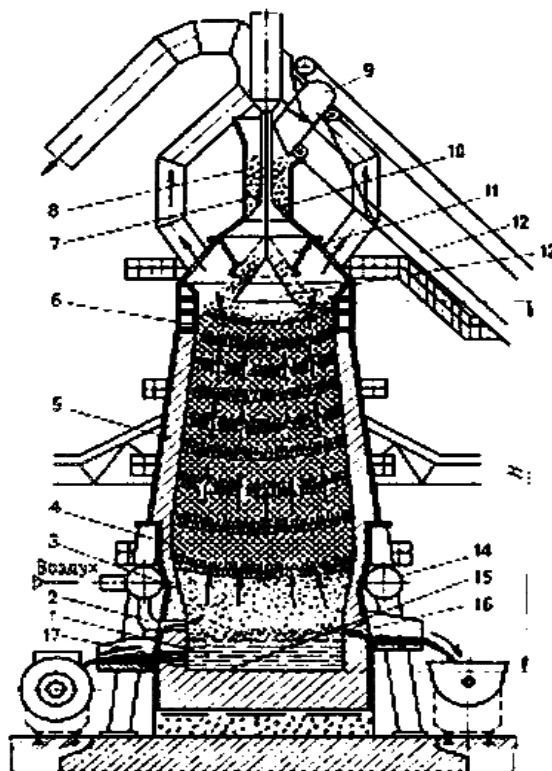


Рис. 1.1. Устройство доменной печи

Основным продуктом доменной плавки является чугун. Кроме чугуна в доменных печах выплавляют *Ферросплавы* – сплавы железа с кремнием, марганцем и другими элементами. Их применяют для раскисления и легирования стали. Побочными продуктами доменной плавки являются *шлак* и *доменный газ*. Из шлака изготавливают шлаковату, цемент, удобрения (стараясь получить гранулированный шлак, для этого его выливают на струю воды). Доменный газ после очистки используется как топливо для нагрева воздуха, вдуваемого в печь.

1.4. Производство стали.

Основными исходными материалами для производства стали являются передельный чугун и стальной лом (скрап). Содержание углерода и примесей в стали значительно ниже, чем в чугуне. Поэтому сущность любого металлургического передела чугуна в сталь – снижение содержания углерода и примесей путем их избирательного окисления и перевода в шлак и газы в процессе плавки.

Процессы выплавки стали осуществляют в три этапа.

Первый этап – расплавление шихты и нагрев ванны жидкого металла. Температура металла сравнительно невысокая, интенсивно происходит окисление железа, образование оксида железа и окисление примесей: кремния, марганца и фосфора. Наиболее важная задача

этапа – удаление фосфора. Для удаления фосфора необходимы невысокие температура ванны металла и шлака, достаточное содержание в шлаке FeO . Для повышения содержания FeO в шлаке и ускорения окисления примесей в печь добавляют железную руду и окалину, наводя железистый шлак. По мере удаления фосфора из металла в шлак, содержание фосфора в шлаке увеличивается. Поэтому необходимо убрать этот шлак с зеркала металла и заменить его новым со свежими добавками CaO .

Второй этап – кипение металлической ванны – начинается по мере прогрева до более высоких температур. При повышении температуры более интенсивно протекает реакция окисления углерода, происходящая с поглощением теплоты. Для окисления углерода в металл вводят незначительное количество руды, окалины или вдувают кислород. При реакции оксида железа с углеродом, пузырьки оксида углерода CO выделяются из жидкого металла, вызывая «кипение ванны». При «кипении» уменьшается содержание углерода в металле до требуемого, выравнивается температура по объему ванны, частично удаляются неметаллические включения, прилипающие к всплывающим пузырькам CO , а также газы, проникающие в пузырьки CO . Все это способствует повышению качества металла.



Следовательно, этот этап - основной в процессе выплавки стали. Также создаются условия для удаления серы. Сера в стали находится в виде сульфида (FeS), который растворяется также в основном шлаке. Образующееся соединение CaS растворяется в шлаке, но не растворяется в железе, поэтому сера удаляется в шлак.

Третий этап – раскисление стали заключается в восстановлении оксида железа, растворённого в жидком металле. При плавке повышение содержания кислорода в металле необходимо для окисления примесей, но в готовой стали кислород – вредная примесь, так как понижает механические свойства стали, особенно при высоких температурах. Сталь раскисляют двумя способами: осаждающим и диффузионным.

Осаждающее раскисление осуществляется введением в жидкую сталь растворимых раскислителей (ферромарганца, ферросилиция, алюминия), содержащих элементы, которые обладают большим сродством к кислороду, чем железо. В результате раскисления восстанавливается железо и образуются оксиды: MnO, SiO_2, Al_2O_3 , которые имеют меньшую плотность, чем сталь, и удаляются в шлак.

Диффузионное раскисление осуществляется раскислением шлака. Ферромарганец, ферросилиций и алюминий в измельчённом виде загружают на поверхность шлака. Раскислители, восстанавливая оксид железа, уменьшают его содержание в шлаке. Следовательно, оксид железа, растворённый в стали переходит в шлак. Образующиеся при этом процессе оксиды остаются в шлаке, а восстановленное железо переходит в сталь, при этом в стали снижается содержание неметаллических включений и повышается ее качество.

Производство стали в мартеновских печах

Мартеновский процесс (1864-1865, Франция). В период до семидесятых годов являлся основным способом производства стали. Способ характеризуется сравнительно небольшой производительностью, возможностью использования вторичного металла – стального скрапа. Вместимость печи составляет 200...900 т. Способ позволяет получать качественную сталь. Мартеновская печь (рис.1.2.) по устройству и принципу работы является пламенной отражательной регенеративной печью. В плавильном пространстве сжигается газообразное топливо или мазут. Высокая температура для получения стали в расплавленном состоянии обеспечивается регенерацией тепла печных газов. Современная мартеновская печь

представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении камеру, сложенную из огнеупорного кирпича. Рабочее плавильное пространство ограничено снизу подиной 12, сверху сводом 11, а с боков передней 5 и задней 10 стенками. Подина имеет форму ванны с откосами по направлению к стенкам печи. В передней стенке имеются загрузочные окна 4 для подачи шихты и флюса, а в задней – отверстие 9 для выпуска готовой стали.

В качестве топлива используют природный газ, мазут. Продолжительность плавки составляет 3...6 часов, для крупных печей – до 12 часов. Готовую плавку выпускают через отверстие, расположенное в задней стенке на нижнем уровне пода. Отверстие плотно забивают малоспекающимися огнеупорными материалами, которые при выпуске плавки выбивают. Печи работают непрерывно, до остановки на капитальный ремонт – 400...600 плавков

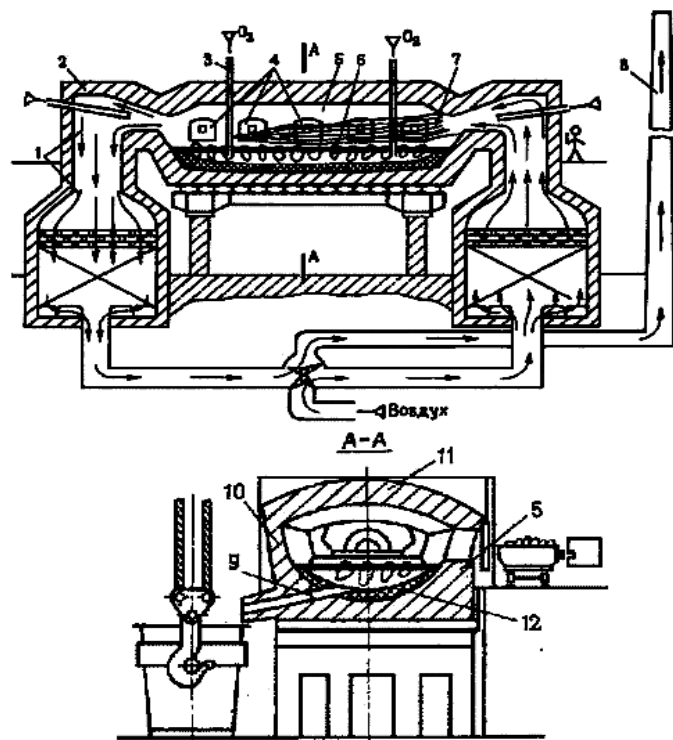


Рис.1.2. Схема мартеновской печи

В зависимости от состава шихты, используемой при плавке, различают разновидности мартеновского процесса:

- *скрап-процесс*, при котором шихта состоит из стального лома (скрапа) и 25...45 % чушкового передельного чугуна, процесс применяют на заводах, где нет доменных печей, но много металлолома.
- *скрап-рудный процесс*, при котором шихта состоит из жидкого чугуна (55...75 %), скрапа и железной руды, процесс применяют на металлургических заводах, имеющих доменные печи. Наибольшее количество стали производят скрап-рудным процессом в мартеновских печах с основной футеровкой. В основных мартеновских печах выплавляют стали углеродистые конструкционные, низко- и среднелегированные (марганцовистые, хромистые), кроме высоколегированных сталей и сплавов, которые получают в плавильных электропечах. В кислых мартеновских печах выплавляют качественные стали. Применяют шихту с низким содержанием серы и фосфора.

Производство стали в кислородных конвертерах.

Кислородно-конвертерный процесс – выплавка стали из жидкого чугуна в конвертере с основной футеровкой и продувкой кислородом через водоохлаждаемую фурму. Первые опыты в 1933-1934 – Мозговой. В промышленных масштабах – в 1952-1953 на заводах в Линце и Донавице (Австрия) – получил название ЛД-процесс. В настоящее время способ является основным в массовом производстве стали. Кислородный конвертер – сосуд грушевидной формы из стального листа, футерованный основным кирпичом. Вместимость конвертера – 130...350 т жидкого чугуна. В процессе работы конвертер может поворачиваться на 360° для загрузки скрапа, заливки чугуна, слива стали и шлака.

Шихтовыми материалами кислородно-конвертерного процесса являются жидкий перекальцованный чугун, стальной лом (не более 30%), известь для наведения шлака, железная руда, а также боксит Al_2O_3 и плавиковый шпат CaF_2 для разжижения шлака.

Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах представлена на рис. 1.3. После очередной плавки стали выпускное отверстие заделывают огнеупорной массой и осматривают футеровку, ремонтируют. Перед плавкой конвертер наклоняют, с помощью завалочных машин загружают скрап рис. (1.3.а), заливают чугун при температуре 1250...1400 $^{\circ}C$ (рис. 1.3.б).

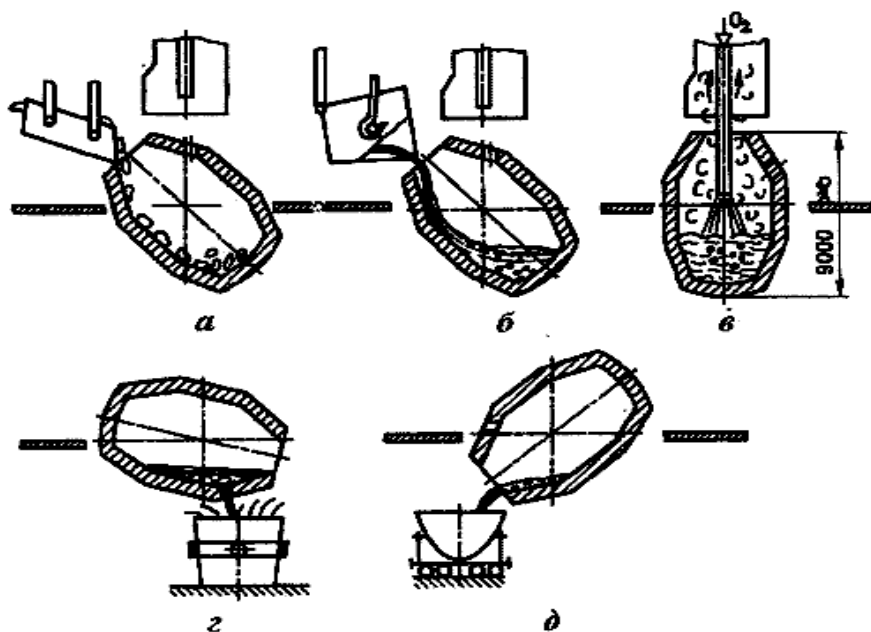


Рис.1.3. Последовательность технологических операций при выплавке стали в кислородных конвертерах

После этого конвертер поворачивают в рабочее положение (рис. 1.3.в), внутрь вводят охлаждаемую фурму и через нее подают кислород под давлением 0,9...1,4 МПа. Одновременно с началом продувки загружают известь, боксит, железную руду. Кислород проникает в металл, вызывает его циркуляцию в конвертере и перемешивание со шлаком. Под фурмой развивается температура 2400 $^{\circ}C$. В зоне контакта кислородной струи с металлом окисляется железо. Оксид железа растворяется в шлаке и металле, обогащая металл кислородом. Растворенный кислород окисляет кремний, марганец, углерод в металле, и их содержание падает. Происходит разогрев металла теплотой, выделяющейся при окислении.

Фосфор удаляется в начале продувки ванны кислородом, когда ее температура невысока (содержание фосфора в чугуне не должно превышать 0,15 %). Сера удаляется в течение всей плавки (содержание серы в чугуне должно быть до 0,07 %).

В кислородных конвертерах выплавляют стали с различным содержанием углерода, кипящие и спокойные, а также низколегированные стали. Легирующие элементы в расплавленном виде вводят в ковш перед выпуском в него стали. Плавка в конвертерах вместимостью 130...300 т заканчивается через 25...30 минут.

Производство стали в электропечах

Плавильные электропечи имеют преимущества по сравнению с другими плавильными агрегатами:

- а) легко регулировать тепловой процесс, изменяя параметры тока;
- б) можно получать высокую температуру металла,
- в) возможность создавать окислительную, восстановительную, нейтральную атмосферу и вакуум, что позволяет раскислять металл с образованием минимального количества неметаллических включений.

Электропечи используют для выплавки конструкционных, высоколегированных, инструментальных, специальных сплавов и сталей. Различают дуговые и индукционные электропечи. В печах можно получать стали с незначительным содержанием углерода и безуглеродистые сплавы, так как нет науглероживающей среды. При вакуумной индукционной плавке индуктор, тигель, дозатор шихты и изложницы, помещают в вакуумные камеры. Получают сплавы высокого качества с малым содержанием газов, неметаллических включений и сплавы, легированные любыми элементами.

1.5. Разливка стали и получение слитков. Способы повышения качества стали.

Из плавильных печей сталь выпускают в ковш, который мостовым краном переносят к месту разливки стали. Из ковша сталь разливают в изложницы или кристаллизаторы машины для непрерывного литья заготовок. В изложницах или кристаллизаторах сталь затвердевает и получают слитки, которые подвергаются прокатке, ковке.

Изложницы – чугунные формы для изготовления слитков. Изложницы выполняют с квадратным, прямоугольным, круглым и многогранным поперечными сечениями. Слитки с квадратным сечением переделывают на сортовой прокат: двутавровые балки, швеллеры, уголки. Слитки прямоугольного сечения – на листы. Слитки круглого сечения используются для изготовления труб, колёс. Слитки с многогранным сечением применяют для изготовления поковок. Спокойные и кипящие углеродистые стали разливают в слитки массой до 25 тонн, легированные и высококачественные стали – в слитки массой 0,5...7 тонн, а некоторые сорта высоколегированных сталей – в слитки до нескольких килограммов. Сталь разливают в изложницы сверху (рис. 1.4.а), снизу (сифоном) (рис. 1.4.б) и на машинах непрерывного литья (рис. 1.5).

В изложницы сверху сталь разливают непосредственно из ковша 1. При этом исключается расход металла на литники, упрощается подготовка оборудования к разливке. К недостаткам следует отнести менее качественную поверхность слитков, из-за наличия пленок оксидов от брызг металла, затвердевающих на стенках изложницы. Применяется для разливки углеродистых сталей.

При сифонной разливке одновременно заполняются несколько изложниц (4...60). Изложницы устанавливаются на поддоне 6, в центре которого располагается центральной

литник 3, футерованный огнеупорными трубками 4, соединённый каналами 7 с изложницами. Жидкая сталь 2 из ковша 1 поступает в центровой литник и снизу плавно, без разбрызгивания наполняет изложницу 5. Поверхность слитка получается чистой, можно разливать большую массу металла одновременно в несколько изложниц. Используют для легированных и высококачественных сталей.

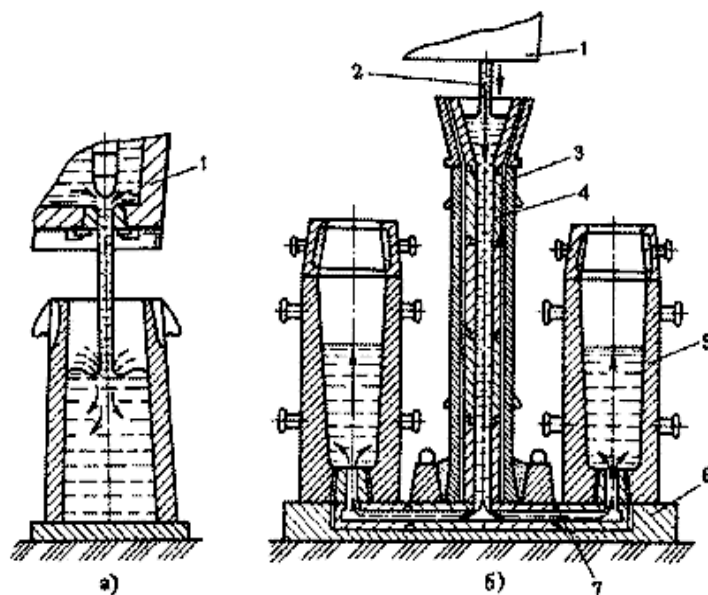


Рис.1.4. Разливка стали в изложницы
а – сверху; б – снизу (сифоном)

Улучшить качество металла можно уменьшением в нём вредных примесей, газов, неметаллических включений. Для повышения качества металла используют: обработку синтетическим шлаком, вакуумную дегазацию металла, электрошлаковый переплав (ЭШП), вакуумно-дуговой переплав (ВДП), переплав металла в электронно-дуговых и плазменных печах и т. д.

Вакуумная дегазация проводится для уменьшения содержания в металле газов и неметаллических включений. *Вакуумирование* стали проводят в ковше, при переливе из ковша в ковш, при заливке в изложницу. Для вакуумирования в ковше ковш с жидкой сталью помещают в камеру, закрывающуюся герметичной крышкой. Вакуумными насосами создают разрежение до остаточного давления 0,267...0,667 кПа. При понижении давления из жидкой стали выделяются водород и азот. Всплывающие пузырьки газов захватывают неметаллические включения, в результате чего содержание их в стали снижается. Улучшаются прочность и пластичность стали.

Электрошлаковый переплав (ЭШП) применяют для выплавки высококачественных сталей для подшипников, жаропрочны сталей.

Вакуумно-дуговой переплав (ВДП) применяют в целях удаления из металла газов и неметаллических включений.

1.6. Вопросы самопроверки.

- 1) Назовите исходные материалы для производства чугуна, стали.
- 2) Возможно ли удаление серы и фосфора при выплавке чугуна в домнах?
- 3) Сформулируйте принципиальную сущность процессов при получении стали из чугуна.

- 4) На каком из этапов выплавки стали производят легирование?
- 5) Вспомните основные различия в качестве сталей, выплавленных в конвертерах, мартеновских печах, в электропечах – дуговых и индукционных.

1.7. Глоссарий по теме 1.

АГЛОМЕРАТ	— Спеченные в куски мелкие материалы, главным образом концентраты обогащения руд и пылевидные руды.
АГЛОМЕРАЦИЯ	— Термический способ окускования мелких материалов, чаще всего рудной шихты.
ВАННА ПЛАВИЛЬНАЯ	— Расплавленный металл в металлургической печи.
ВКЛЮЧЕНИЯ	— Инородные частицы в металлах и сплавах, находящиеся в жидком и твердом состояниях.
неметаллические В.	— Включения оксидов, нитридов, карбидов и других соединений в металлах и сплавах, образующиеся в результате раскисления металла, размыва огнеупоров, окисления жидкого металла и т. д.
ВОССТАНОВИТЕЛЬ	— Реагент, способный отнимать кислород из соединений металлов.
ВОССТАНОВЛЕНИЕ	— Отнятие и связывание кислорода, хлора и т. п. из окислов, хлоридов и других соединений металлов, а также из руд с помощью восстановителей.
ГЛИНА ОГНЕУПОРНАЯ	— Глина с высоким содержанием глинозема (30–40 °), обладающая высокой огнеупорностью (более 1600 ° C), сырье для производства огнеупоров.
ГОРН	— Нижняя часть рабочего пространства доменной печи, в которой скапливается жидкий металл.
ДИНАС	— Огнеупорный материал, содержащий не менее 93 % кремнезема.
ДОБАВКИ	— Вещества, вводимые в шихту, а также в жидкие металлы и шлаки для осуществления необходимых металлургических процессов и получения сплавов необходимого качества.
легирующие Д.	— Добавки, вводимые в металлические расплавы для их легирования.
флюсующие Д.	— Добавки, вводимые в шихту для образования шлака и регулирования его состава, а также для связывания нежелательных примесей в химические соединения.

ДОЛОМИТ	— Минерал состава $MgCO_3 \cdot CaCO_3$, сырье для производства огнеупоров, извести, флюс для металлургических процессов.
ДОМЕННЫЙ ПРОЦЕСС	— Выплавка в доменной печи чугуна из железосодержащих материалов.
КИСЛОРОДНО-КОНВЕРТЕРНЫЙ ПРОЦЕСС	— Процесс выплавки стали путем продувки жидкого чугуна технически чистым (более 95,5 %) кислородом.
КЛАССИФИКАЦИЯ СТАЛЕЙ ПО КАЧЕСТВУ	— Разделение сталей на классы по содержанию в них вредных примесей (в основном серы и фосфора).
КОНВЕРТЕР	— Металлургический агрегат для получения стали из расплавленного чугуна путем продувки его кислородом.
КРАСНОЛОМКОСТЬ	— Охрупчивание сплавов при высоких температурах или горячей деформации, вызываемое оплавлением границ зерен (вызывается примесью серы).
ОГНЕУПОРЫ	— Огнеупорные материалы и изделия, предназначенные для сооружения печей и других агрегатов, работающих при высоких температурах.
динасовые О.	— Огнеупоры на основе динаса.
доломитовые О.	— Огнеупоры на основе доломита.
кислые О.	— Огнеупоры, в составе которых преобладает оксид кремния SiO_2 .
основные О.	— Огнеупоры с преобладающим содержанием основных оксидов (MgO , CaO).
шамотные О.	— Алумосиликатные огнеупоры, содержащие 50–70 % SiO_2 и 28–45 % Al_2O_3 .
ПЕЧЬ	— Устройство, в котором в результате горения топлива или превращения электрической энергии выделяется тепло, используемое для отопления, тепловой обработки материалов и других целей.
доменная П.	— Шахтная печь для выплавки чугуна из железорудных материалов.
индукционная П.	— Электрическая печь с индукционным нагревом материала.
кислая П.	— Печь с кислой футеровкой.
мартеновская П.	— Пламенная регенеративная печь для производства стали из чугуна и стального лома (скрапа).
основная П.	— Печь с основной футеровкой.
электродуговая П.	— Печь, в которой для плавки металлов и других материалов используется теплота, выделяемая электрической дугой.

РАЗЛИВКА	— Наполнение жидким металлом изложниц или литейных форм.
непрерывная Р.	— Разливка металла в водоохлаждаемый кристаллизатор, из которого затвердевающая заготовка непрерывно вытягивается в отверстие противоположного торца.
верхняя Р.	— Заполнение изложниц струей металла, подаваемой через верхний открытый торец.
сифонная Р.	— Разливка с заполнением изложниц снизу, основанная на принципе сообщающихся сосудов.
РАСКИСЛЕНИЕ МЕТАЛЛА	— Удаление из жидких металлов растворенного в них кислорода путем присадки раскислителей – веществ, обладающих способностью соединяться с кислородом.
РАФИНИРОВАНИЕ	— Очистка жидких металлов и сплавов от нейтральных или вредных примесей
СКРАП-ПРОЦЕСС	— Мартеновский процесс, при котором основной составляющей частью шихты служит металлолом.
СЛИТОК	— Металл, затвердевший при остывании в изложнице и предназначенный для дальнейшей деформационной обработки или переплава.
ФЕРРОСПЛАВЫ	— Сплавы железа с другими элементами, применяемые главным образом для легирования и раскисления стали, а также для модифицирования.
ФЛЮС	— Материалы, преимущественно минерального происхождения, вводимые в шихту для образования шлака и регулирования его состава, в частности для связывания пустой породы руды, золы топлива или продуктов раскисления металла. По химическому составу Ф. делятся на основные (известняк), кислые (кремнезем) и нейтральные (глинозем).
ФУТЕРОВКА	— Защитная внутренняя облицовка (из кирпичей, плит, блоков, а также набивная) тепловых агрегатов, печей, топок, труб и т. д.
ХЛАДНОЛОМКОСТЬ	— Склонность материалов к появлению хрупкости с понижением температуры (не обязательно ниже 0 ° С). Присуща сплавам на основе металлов с ОЦК решеткой (железо, хром, молибден, вольфрам). Одна из причин Х. – содержание вредной примеси фосфора.

ШАМОТ	— Обожженная огнеупорная глина, или каолин; применяется при производстве шамотных огнеупоров, а также раствора для огнеупорной кладки.
ШИХТА	— Смесь сырьевых материалов, а в некоторых случаях и топлива, подлежащая переработке в металлургических печах.
доменная Ш.	— Шихта для получения чугуна или ферросплавов в доменной печи; содержит в основном железорудное сырье, кокс и флюсы.
сталеплавильная Ш.	— Шихта, подлежащая переработке в сталеплавильных печах; содержит в основном передельный чугун, лом, железную руду и флюсы.
ШЛАК	— Многокомпонентный неметаллический расплав, покрывающий при плавильных процессах поверхность жидкого металла.

1.8.Использованные информационные ресурсы.

Технологии в металлургии: <http://www.metalspace.ru>

1.9. Список сокращений

ЭШП — Электрошлаковый переплав.

ВДП — Вакуумно-дуговой переплав.

УНРС — Установка непрерывной разливки стали, в которой вытекающая из разливочного ковша струя стали превращается, кристаллизуясь в непрерывнолитую стальную заготовку.

Тема 2. Основы литейного производства

Аннотация. Данная тема раскрывает основные понятия литейного производства. Предусматривается изучение изготовления отливок в песчаных и металлических формах. Рассматриваются технологические возможности различных способов получения отливок.

Ключевые слова. *Литниковая система, формовочные смеси, прибыль, выпор, кокиль.*

2.1. Классификация способов получения заготовок. Общие принципы выбора заготовки

Необходимость экономии материальных ресурсов предъявляет высокие требования к рациональному выбору заготовок, к уровню их технологичности, в значительной мере определяющей затраты на технологическую подготовку производства, себестоимость, надёжность и долговечность изделий. Правильно выбрать способ получения заготовки – означает определить рациональный технологический процесс её получения с учётом материала детали, требований к точности её изготовления, технических условий, эксплуатационных характеристик и серийности выпуска.

Машиностроение располагает большим количеством способов получения деталей. Это многообразие, с одной стороны, позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики машин за счёт использования свойств исходного материала, с другой – создаёт трудности при выборе рационального, экономичного способа получения детали. Особенно важно правильно выбрать вид заготовки, назначить наиболее рациональный технологический процесс её изготовления в условиях автоматизированного производства, когда размеры детали при механической обработке получаются «автоматически» на предварительно настроенных агрегатных станках или станках с числовым программным управлением (ЧПУ). Максимальное приближение геометрических форм и размеров заготовки к размерам и форме готовой детали – главная задача заготовительного производства.

Заданные конструктором геометрия, размеры и марка материала детали во многом определяют технологию изготовления. Таким образом, выбор вида заготовки происходит в процессе конструирования, так как при расчёте деталей на прочность, износостойкость или при учете других показателей эксплуатационных характеристик конструктор исходит из физико-механических свойств применяемого материала с учётом влияния способа получения заготовки. Выпуск технологичной заготовки в заданных масштабах производства обеспечивает минимальные производственные затраты, себестоимость, трудоемкость и материалоемкость. Под технологичностью заготовки принято понимать, насколько данная заготовка соответствует требованиям производства и обеспечивает долговечность и надёжность работы детали при эксплуатации.

При выборе способов получения заготовки в первую очередь следует учитывать основные факторы (себестоимость и требования к качеству), ориентироваться на то, что в конкретном случае является определяющим. В качестве примера можно рассмотреть крупногабаритные детали значительной массы, требующие для своего изготовления уникального оборудования большой мощности. Такие детали целесообразно изготавливать сварными. Это позволяет сократить длительность цикла изготовления, повысить качество металла за счет применения слитков меньшей массы с меньшим количеством литейных дефектов, но при этом уменьшается коэффициент использования металла, увеличивается трудоемкость. Оптимальное решение при выборе заготовок может быть найдено только при

условии комплексного анализа влияния на себестоимость всех факторов, при обязательном условии положительного влияния способа получения заготовки на качество изделия.

В себестоимости изготовления детали значительную долю составляют затраты на материал (около 60 %). Поэтому пути снижения себестоимости целесообразно искать в снижении расхода материала. Технологичность детали с определенной степенью приближения оценивается следующими показателями:

- коэффициент выхода годного ($K_{в.г.}$);
- весовой точности ($K_{в.т.}$);
- использования металла ($K_{и.м.}$).

Общие принципы выбора заготовки

Наиболее широко для получения заготовок в машиностроении применяют следующие методы: литье, обработка металла давлением и сварка, а также комбинация этих методов. Каждый из методов содержит большое число способов получения заготовок.

Метод – это группа технологических процессов, в основе которых лежит единый принцип формообразования.

Литье – получение заготовок путем заливки расплавленного металла заданного химического состава в литейную форму, полость которой имеет конфигурацию заготовки.

Обработка давлением – технологические процессы, которые основаны на пластическом формоизменении металла.

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений из металлов и сплавов в результате образования атомно-молекулярных связей между частицами соединяемых заготовок.

При выборе метода необходимо ориентироваться в первую очередь на материал и требования к нему с точки зрения обеспечения служебных свойств изделия (литье – чугун, стали с обозначением Л). Особо ответственные детали, к которым предъявляются высокие требования по размеру зерна, направлению волокон, а также по уровню механических свойств, всегда следует изготавливать из заготовок, полученной обработкой давлением.

2.2. Общая характеристика литейного производства.

Теория и практика технологии литейного производства на современном этапе позволяет получать изделия с высокими эксплуатационными свойствами. Современное состояние литейного производства определяется совершенствованием традиционных и появлением новых способов литья, непрерывно повышающимся уровнем механизации и автоматизации технологических процессов, специализацией и централизацией производства, созданием научных основ проектирования литейных машин и механизмов.

Литье является наиболее распространенным методом формообразования. Преимуществами литья являются изготовление заготовок с наибольшими коэффициентами использования металла и весовой точности, изготовление отливок практически неограниченных габаритов и массы, получение заготовок из сплавов, неподдающихся пластической деформации и трудно обрабатываемых резанием (магниты).

Получение качественных отливок без раковин, трещин и других дефектов зависит от литейных свойств сплавов, которые проявляются при заполнении формы, кристаллизации и охлаждении отливок в форме. К основным литейным свойствам сплавов относят:

жидкотекучесть, усадку сплавов, склонность к образованию трещин, газопоглощение, ликвацию.

Жидкотекучесть – способность расплавленного металла течь по каналам литейной формы, заполнять ее полости и четко воспроизводить контуры отливки. При высокой жидкотекучести сплавы заполняют все элементы литейной формы. Жидкотекучесть зависит от многих факторов: от температурного интервала кристаллизации, вязкости и поверхностного натяжения расплава, температуры заливки и формы, свойств формы и т.д.

Усадка – свойство металлов и сплавов уменьшать объем при охлаждении в расплавленном состоянии, в процессе затвердевания и в затвердевшем состоянии при охлаждении до температуры окружающей среды. Изменение объема зависит от химического состава сплава, температуры заливки, конфигурации отливки. Различают *объемную* и *линейную* усадку. В результате объемной усадки появляются усадочные раковины и усадочная пористость в массивных частях отливки. Для предупреждения образования усадочных раковин устанавливают прибыли – дополнительные резервуары с расплавленным металлом, а также наружные или внутренние холодильники. Линейная усадка определяет размерную точность полученных отливок, поэтому она учитывается при разработке технологии литья и изготовления модельной оснастки. Линейная усадка составляет: для серого чугуна – 0,8...1,3 %; для углеродистых сталей – 2...2,4 %; для алюминиевых сплавов – 0,9...1,45 %; для медных сплавов – 1,4...2,3 %.

Газопоглощение – способность литейных сплавов в расплавленном состоянии растворять водород, азот, кислород и другие газы. Степень растворимости газов зависит от состояния сплава: с повышением температуры твердого сплава увеличивается незначительно; возрастает при плавлении; резко повышается при перегреве расплава. При затвердевании и последующем охлаждении растворимость газов уменьшается, в результате их выделения в отливке могут образоваться газовые раковины и поры. Растворимость газов зависит от химического состава сплава, температуры заливки, вязкости сплава и свойств литейной формы.

Ликвация – неоднородность химического состава сплава в различных частях отливки. Ликвация образуется в процессе затвердевания отливки, из-за различной растворимости отдельных компонентов сплава в его твердой и жидкой фазах. В сталях и чугунах заметно ликвируют сера, фосфор и углерод. Различают ликвацию *зональную*, когда различные части отливки имеют различный химический состав, и *дендритную*, когда химическая неоднородность наблюдается в каждом зерне.

2.3. Изготовление отливок в песчаных формах.

Для изготовления отливок служит литейная форма, которая представляет собой систему элементов, образующих рабочую полость, при заливке которой расплавленным металлом формируется отливка. Литейные формы изготавливают как из неметаллических материалов (песчаные формы, формы изготавливаемые по выплавляемым моделям, оболочковые формы) для одnorазового использования, так и из металлов (кокили, изложницы для центробежного литья) для многократного использования.

Литье в песчаные формы является самым распространенным способом изготовления отливок. Изготавливают отливки из чугуна, стали, цветных металлов от нескольких грамм до сотен тонн, с толщиной стенки от 3...5 до 1000 мм и длиной до 10000 мм.

Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах представлена на рис. 2.1.

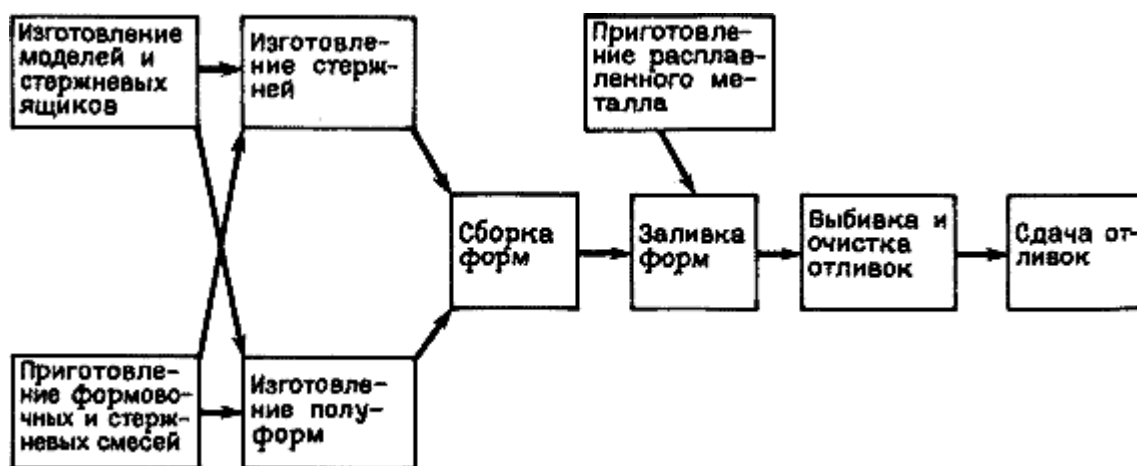


Рис. 2.1. Схема технологического процесса изготовления отливок в песчаных формах

Сущность литья в песчаные формы заключается в получении отливок из расплавленного металла, затвердевшего в формах, которые изготовлены из формовочных смесей путем уплотнения с использованием модельного комплекта.

Литейная форма для получения отливок в песчаных формах представлена на рис.2.2. Литейная форма обычно состоит из верхней 1 и нижней 2 полуформ, которые изготавливаются в опоках 7, 8 – приспособлениях для удержания формовочной смеси. Полуформы ориентируют с помощью штырей 10, которые вставляют в отверстия ручек опок 11. Для образования полостей отверстий или иных сложных контуров в формы устанавливают литейные стержни 3, которые фиксируют посредством выступов, входящих в соответствующие впадины формы (знаки). Литейную форму заливают расплавленным металлом через литниковую систему.

Литниковая система – совокупность каналов и резервуаров, по которым расплав поступает из разливочного ковша в полость формы. Основными элементами являются: литниковая чаша 5, которая служит для приема расплавленного металла и подачи его в форму; стояк 6 – вертикальный или наклонный канал для подачи металла из литниковой чаши в рабочую полость или к другим элементам; шлакоуловитель 12, с помощью которого удерживается шлак и другие неметаллические примеси; питатель 13 – один или несколько, через которые расплавленный металл подводится в полость литейной формы. Для вывода газов, контроля заполнения формы расплавленным металлом и питания отливки при ее затвердевании служат прибыли или выпор 4. Для вывода газов предназначены и вентиляционные каналы 9.

Различают литниковые системы с питателями, расположенными в горизонтальной и вертикальной плоскостях. По способу подвода расплава в рабочую полость формы литниковые системы делят на: нижнюю, верхнюю, боковую. Разновидности литниковых систем представлены на рис. 2.3.

Боковая литниковая система (рис.2.3.а). Подвод металла осуществляется в среднюю часть отливки (по разьему формы). Такую систему применяют при получении отливок из различных сплавов, малых и средних по массе деталей, плоскость симметрии которых совпадает с плоскостью разьема формы. Является промежуточной между верхней и нижней, и следовательно сочетает в себе некоторые их достоинства и недостатки.

Нижняя литниковая система (рис.2.3.б) – широко используется для литья сплавов, легко окисляющихся и насыщающихся газами (алюминий), обеспечивает спокойный подвод расплава к рабочей полости формы и постепенное заполнение ее поступающим снизу, без

открытой струи металлом. При этом усложняется конструкция литниковой системы, увеличивается расход металла на нее, создается неблагоприятное распределение температур в залитой форме ввиду сильного разогрева ее нижней части. Возможно образование усадочных дефектов и внутренних напряжений.

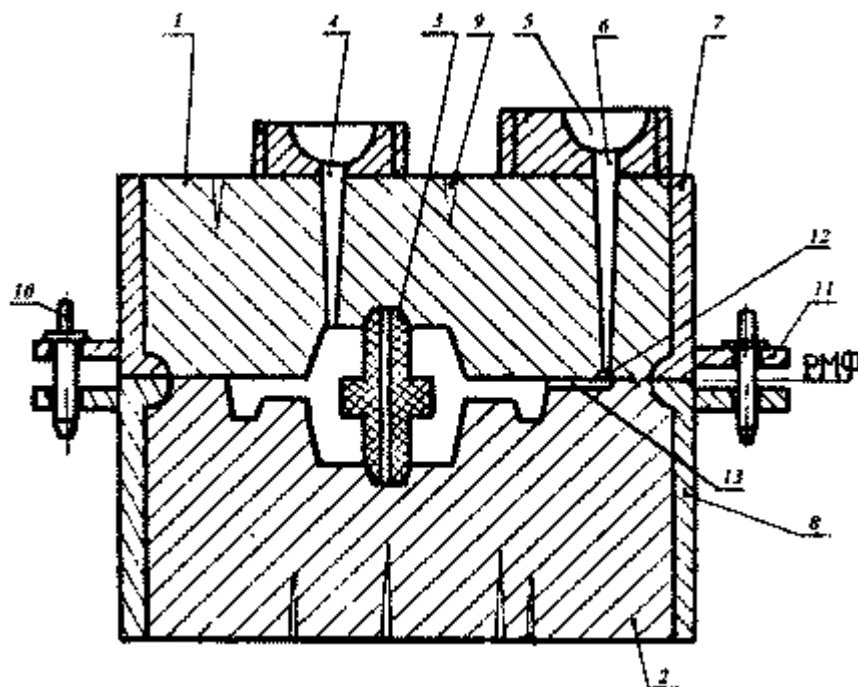


Рис. 2.2. Литейная форма

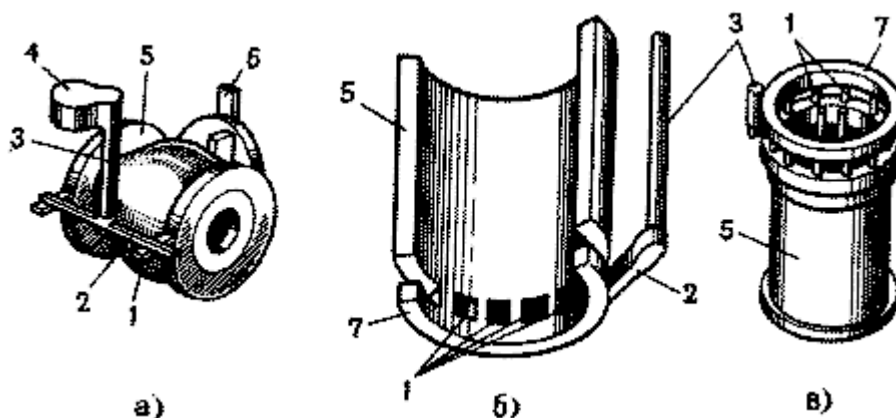


Рис. 2.3. Разновидности литниковых систем

При такой системе ограничена возможность получения высоких тонкостенных отливок (при литье алюминиевых сплавов форма не заполняется металлом, если отношение высоты отливки к толщине ее стенки превышает 60 , $\frac{H}{\delta} \geq 60$). Нижний подвод через большое количество питателей часто используется при изготовлении сложных по форме, крупных отливок из чугуна.

Верхняя литниковая система (рис.2.3.в). Достоинствами системы являются: малый расход металла; конструкция проста и легко выполнима при изготовлении форм; подача расплава сверху обеспечивает благоприятное распределение температуры в залитой форме (температура увеличивается от нижней части к верхней), а следовательно, и благоприятные

условия для направленной кристаллизации и питания отливки. Недостатки: падающая сверху струя может размыть песчаную форму, вызывая засоры; при разбрызгивании расплава возникает опасность его окисления и замешивания воздуха в поток с образованием оксидных включений; затрудняется улавливание шлака. Верхнюю литниковую систему применяют для невысоких (в положении заливки) отливок, небольшой массы и несложной формы, изготовленных из сплавов не склонных к сильному окислению в расплавленном состоянии (чугуны, углеродистые конструкционные стали, латуни).

Песок – основной компонент формовочных и стержневых смесей. Обычно используется кварцевый или цирконовый песок из кремнезема.

Глина является связующим веществом, обеспечивающим прочность и пластичность, обладающим термической устойчивостью. Широко применяют бентонитовые или каолиновые глины. Для предотвращения пригара и улучшения чистоты поверхности отливок используют противопригарные материалы: для сырых форм – припылы; для сухих форм – краски. В качестве припылов используют: для чугунных отливок – смесь оксида магния, древесного угля, порошкообразного графита; для стальных отливок – смесь оксида магния и огнеупорной глины, пылевидный кварц.

По характеру использования различают: облицовочные, наполнительные и единые смеси.

Облицовочная – используется для изготовления рабочего слоя формы. Содержит повышенное количество исходных формовочных материалов и имеет высокие физико-механические свойства.

Наполнительная – используется для заполнения формы после нанесения на модель облицовочной смеси. Приготавливается путем переработки оборотной смеси с малым количеством исходных формовочных материалов. Облицовочная и наполнительная смеси необходимы для изготовления крупных и сложных отливок.

Единая – применяется одновременно в качестве облицовочной и наполнительной. Используют при машинной формовке и на автоматических линиях в серийном и массовом производстве. Изготавливается из наиболее огнеупорных песков и глин с наибольшей связующей способностью для обеспечения долговечности.

Стержневые смеси соответствуют условиям технологического процесса изготовления литейных стержней, которые испытывают тепловые и механические воздействия. Они должны иметь более высокие огнеупорность, газопроницаемость, податливость, легко выбиваться из отливки. В современном литейном производстве изготовление смесей осуществляется на автоматических участках.

Модельный комплект – приспособления, включающие литейную модель, модели литниковой системы, стержневые ящики, модельные плиты, контрольные и сборочные шаблоны.

Литейная модель – приспособление, с помощью которого в литейной форме получают отпечаток, соответствующий конфигурации и размерам отливки.

Применяют модели разъемные и неразъемные, деревянные, металлические и пластмассовые. Размеры модели больше размеров отливки на величину линейной усадки сплава.

Модели деревянные (сосна, бук, ясень), лучше изготавливать не из целого куска, а склеивать из отдельных брусочков с разным направлением волокон, для предотвращения коробления. Достоинства: дешевизна, простота изготовления, малый вес. Недостаток: недолговечность. Для лучшего удаления модели из формы ее окрашивают: чугун – красный, сталь – синий.

Металлические модели характеризуются большей долговечностью, точностью и чистой рабочей поверхностью. Изготавливаются из алюминиевых сплавов – легкие, не окисляются,

хорошо обрабатываются. Для уменьшения массы модели делают пустотелыми с ребрами жесткости.

Модели из пластмасс устойчивы к действию влаги при эксплуатации и хранении, не подвергаются короблению, имеют малую массу.

Стержневой ящик – формообразующее изделие, имеющее рабочую полость для получения в ней литейного стержня нужных размеров и очертаний из стержневой смеси. Обеспечивают равномерное уплотнение смеси и быстрое извлечение стержня. Изготавливают из тех же материалов, что и модели. Могут быть разъемными и неразъемными (вытряхными), а иногда с нагревателями. Изготовление стержней может осуществляться в ручную и на специальных стержневых машинах.

Модельные плиты формируют разъем литейной формы, на них закрепляют части модели. Используют для изготовления опочных и безопочных полуформ. Для машинной формовки применяют координатные модельные плиты и плиты со сменными вкладышами (металлическая рамка плюс металлические или деревянные вкладыши).

Основными операциями изготовления литейных форм являются: уплотнение формовочной смеси для получения точного отпечатка модели в форме и придание форме достаточной прочности; устройство вентиляционных каналов для вывода газов из полости формы; извлечение модели из формы; отделка и сборка формы.

Формы изготавливаются вручную, на формовочных машинах и на автоматических линиях.

Сборка литейной формы включает: установку нижней полуформы; установку стержней, устойчивое положение которых обеспечивается стержневыми знаками; контроль отклонения размеров основных полостей формы; установку верхней полуформы по центрирующим штырям.

Заливка форм расплавленным металлом осуществляется из ковшей чайникового, барабанного и других типов. Важное значение имеет температура расплавленного металла. Целесообразно назначать ее на 100...150 °С выше температуры плавления: низкая температура увеличивает опасность незаполнения формы, захвата воздуха, ухудшения питания отливок; при высокой температуре металл больше насыщен газами, сильнее окисляется, возможен пригар на поверхности отливки. Заливку ведут непрерывно до полного заполнения литниковой чаши.

Охлаждение отливок до температуры выбивки длится от нескольких минут (для небольших тонкостенных отливок) до нескольких суток и недель (для крупных толстостенных отливок). Для сокращения продолжительности охлаждения используют методы принудительного охлаждения:

- а) обдувают воздухом,
- б) при формовке укладывают змеевики, по которым пропускают воздух или воду.

Выбивка отливки – процесс удаления затвердевшей и охлажденной до определенной температуры отливки из литейной формы, при этом литейная форма разрушается. Осуществляют на специальных выбивных установках. Форма выталкивается из опоки выталкивателем на виброжелоб, по которому направляется на выбивную решетку, где отливки освобождаются от формовочной смеси. Выбивку стержней осуществляют вибрационно-пневматическими и гидравлическими устройствами.

Обрубка отливок – процесс удаления с отливки прибылей, литников, выпоров и заливок по месту сопряжения полуформ. Осуществляется пневматическими зубилами, ленточными и дисковыми пилами, при помощи газовой резки и на прессах. После обрубки отливки зачищают, удаляя мелкие заливки, остатки выпоров и литников. Выполняют зачистку маятниковыми и стационарными шлифовальными кругами, пневматическими зубилами.

Очистка отливок – процесс удаления пригара, остатков формовочной и стержневой смесей с наружных и внутренних поверхностей отливок. Осуществляется в галтовочных барабанах периодического или непрерывного действия (для мелких отливок), в гидropескоструйных и дробеметных камерах, а также химической или электрохимической обработкой.

2.4. Изготовление отливок в постоянных (металлических) формах: в кокиль, под давлением, центробежным способом.

В современном литейном производстве все более широкое применение получают специальные способы литья: в оболочковые формы, по выплавляемым моделям, кокильное, под давлением, центробежное и другие. Эти способы позволяют получать отливки повышенной точности, с малой шероховатостью поверхности, минимальными припусками на механическую обработку, а иногда полностью исключают ее, что обеспечивает высокую производительность труда. Каждый специальный способ литья имеет свои особенности, определяющие области применения.

Литье в оболочковые формы - процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, изготовленных по горячей модельной оснастке из специальных песчано-смоляных смесей. Формовочную смесь готовят из мелкого кварцевого песка с добавлением термореактивных связующих материалов.

Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы представлены на рис.2.4. Металлическую модельную плиту 1 с моделью нагревают в печи до 200...250 °С. Затем плиту 1 закрепляют на опрокидывающемся бункере 2 с формовочной смесью 3 (рис. 2.4. а) и поворачивают на 180 ° (рис. 2.4.б). Формовочную смесь выдерживают на плите 10...30 секунд. Под действием теплоты, исходящей от модельной плиты, термореактивная смола в приграничном слое расплавляется, склеивает песчинки и отвердевает с образованием песчано-смоляной оболочки 4, толщиной 5...15 мм. Бункер возвращается в исходное положение (рис. 2.4. в), излишки формовочной смеси осыпаются с оболочки. Модельная плита с полутвердой оболочкой 4 снимается с бункера и прокаливается в печи при температуре 300...350 °С, при этом смола переходит в твердое необратимое состояние. Твердая оболочка снимается с модели с помощью выталкивателей 5 (рис.2.4.г). Аналогичным образом получают вторую полуформу. Для получения формы полуформы склеивают или соединяют другими способами (при помощи скоб). Собранные формы небольших размеров с горизонтальной плоскостью разъема укладывают на слой песка. Формы с вертикальной плоскостью разъема 6 и крупные формы для предохранения от коробления и преждевременного разрушения устанавливают в контейнеры 7 и засыпают чугунной дробью 8 (рис.2.4.д). Литье в оболочковые формы обеспечивает высокую геометрическую точность отливок, малую шероховатость поверхностей, снижает расход формовочных материалов (высокая прочность оболочек позволяет изготавливать формы тонкостенными) и объем механической обработки, является высокопроизводительным процессом.

В оболочковых формах изготавливают отливки массой 0,2...100 кг с толщиной стенки 3...15 мм из всех литейных сплавов для приборов, автомобилей, металлорежущих станков.

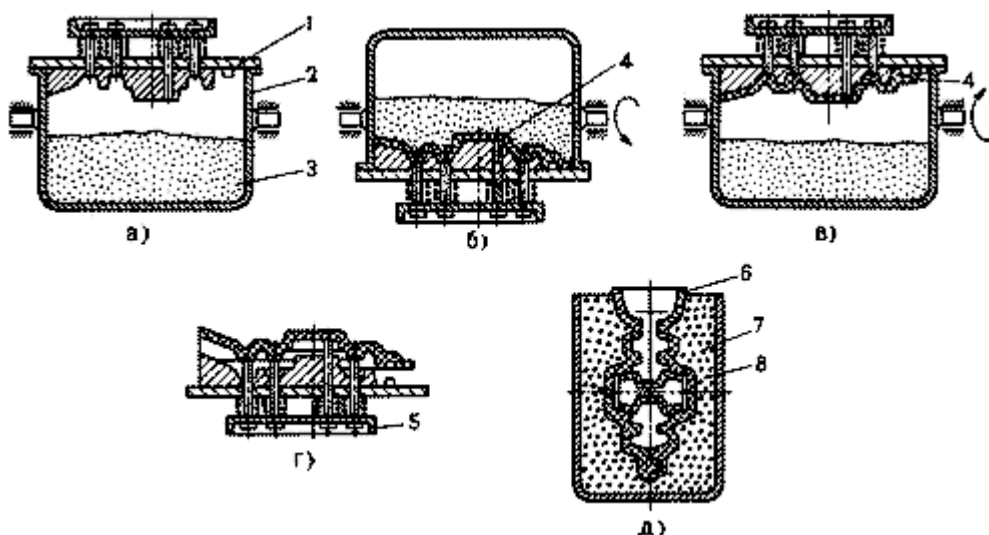


Рис 2.4. Технологические операции формовки при литье в оболочковые формы

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок из расплавленного металла в формах, рабочая полость которых образуется благодаря удалению (вытеканию) легкоплавкого материала модели при ее предварительном нагревании.

Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям представлены на рис. 2.5. Выплавляемые модели изготавливают в пресс-формах 1 (рис. 2.5.а) из модельных составов, включающих парафин, воск, стеарин, жирные кислоты. Состав хорошо заполняет полость пресс-формы, дает четкий отпечаток. После затвердевания модельного состава пресс-форма раскрывается и модель 2 (рис. 3.2.б) выталкивается в холодную воду. Затем модели собираются в модельные блоки 3 (рис. 2.5.в) с общей литниковой системой припаиванием, приклеиванием или механическим креплением. В один блок объединяют 2...100 моделей. Формы изготавливают многократным погружением модельного блока 3 в специальную жидкую огнеупорную смесь 5, налитую в емкость 4 (рис.2.5.г) с последующей обсыпкой кварцевым песком. Затем модельные блоки сушат на воздухе или в среде аммиака. Обычно наносят 3...5 слоев огнеупорного покрытия с последующей сушкой каждого слоя. Модели из форм удаляют, погружая в горячую воду или с помощью нагретого пара. После удаления модельного состава тонкостенные литейные формы устанавливаются в опоке, засыпаются кварцевым песком, а затем прокаливают в печи в течение 6...8 часов при температуре 850...950 °С для удаления остатков модельного состава, испарения воды (рис. 2.5.д). Заливку форм по выплавляемым моделям производят сразу же после прокали в нагретом состоянии. Заливка может быть свободной, под действием центробежных сил, в вакууме и т.д. После затвердевания залитого металла и охлаждения отливок форма разрушается, отливки отделяют от литников механическими методами, направляют на химическую очистку, промывают и подвергают термической обработке. Литье по выплавляемым моделям обеспечивает получение точных и сложных отливок из различных сплавов массой 0,02...15 кг с толщиной стенки 0,5...5 мм. Недостатком является сложность и длительность процесса производства отливок, применение специальной дорогостоящей оснастки. Литьем по выплавляемым моделям изготавливают детали для приборостроительной, авиационной и другой отраслевой промышленности. Используют при литье жаропрочных труднообрабатываемых сплавов (лопатки турбин), коррозионно-стойких сталей, углеродистых сталей в массовом производстве (автомобильная промышленность). Технологический процесс автоматизирован и механизирован.

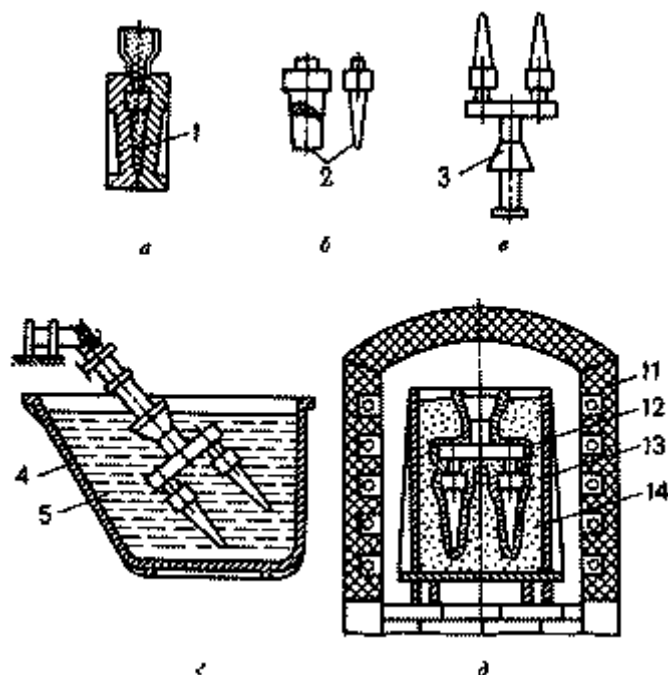


Рис.2.5. Технологические операции процесса литья по выплавляемым моделям

Литье в кокиль – изготовление отливок из расплавленного металла в металлических формах-кокилях. Формирование отливки происходит при интенсивном отводе теплоты от расплавленного металла, от затвердевающей и охлаждающейся отливки к массивному металлическому кокилю, что обеспечивает более высокие плотность металла и механические свойства, чем у отливок, полученных в песчаных формах. Литье в металлические формы (кокили) получило большое распространение. Этим способом получают более 40% всех отливок из алюминиевых и магниевых сплавов, отливки из чугуна и стали. Схема получения отливок в кокиле представлена на рис. 2.6. Рабочую поверхность кокиля с вертикальной плоскостью разъема, состоящую из поддона 1, двух симметричных полуформ 2 и 3 и металлического стержня 4, предварительно нагретую до 150...180 °С покрывают из пульверизатора 5 слоем огнеупорного покрытия (рис. 2.6.а) толщиной 0,3...0,8 мм. Покрытие предохраняет рабочую поверхность кокиля от резкого нагрева и схватывания с отливкой. Покрытия готовят из огнеупорных материалов (тальк, мел, графит), связующего материала (жидкое стекло) и воды. Затем с помощью манипулятора устанавливают песчаный стержень 6, с помощью которого в отливке выполняется полость (рис.3.3.б). Половинки кокиля соединяют и заливают расплав. После затвердевания отливки 7 (рис. 2.6.в) и охлаждения ее до температуры выбивки кокиль раскрывают (рис. 2.6. г) и протягивают вниз металлический стержень 4. Отливка 7 удаляется манипулятором из кокиля (рис. 2.6.д). Отливки простой конфигурации изготавливают в неразъемных кокилях, несложные отливки с небольшими выступами и впадинами на наружной поверхности – в кокилях с вертикальным разъемом. Крупные, простые по конфигурации отливки получают в кокилях с горизонтальным разъемом. При изготовлении сложных отливок применяют кокили с комбинированным разъемом. Расплавленный металл в форму подводят сверху, снизу (сифоном), сбоку. Для удаления воздуха и газов по плоскости разъема прорезают вентиляционные каналы. Все операции технологического процесса литья в кокиль механизированы и автоматизированы. Используют однопозиционные и многопозиционные автоматические кокильные машины.

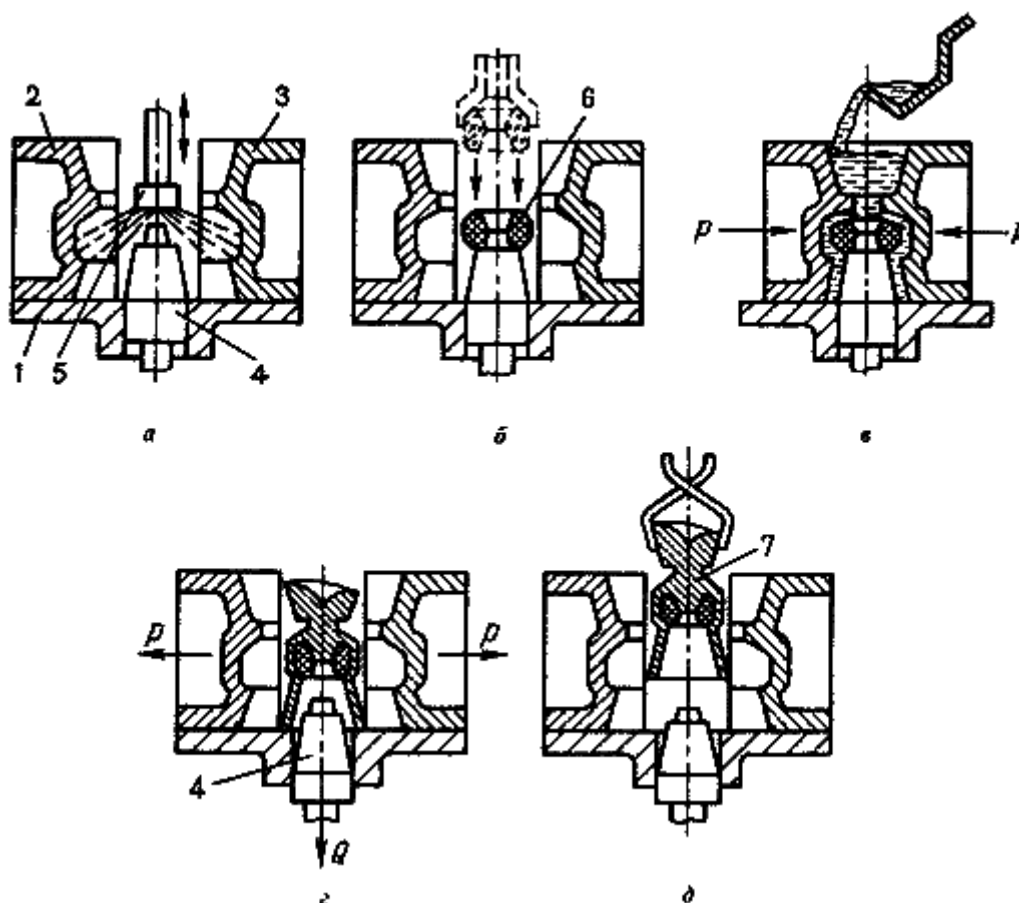


Рис. 2.6. Технологические операции изготовления отливки в кокиль

Литье в кокиль применяют в массовом и серийном производствах для изготовления отливок из чугуна, стали и сплавов цветных металлов с толщиной стенки 3...100 мм, массой от нескольких граммов до нескольких сотен килограммов. Литье в кокиль позволяет сократить или избежать расхода формовочных и стержневых смесей, трудоемких операций формовки и выбивки форм, повысить точность размеров и снизить шероховатость поверхности, улучшить механические свойства. Недостатки кокильного литья: высокая трудоемкость изготовления кокилей, их ограниченная стойкость, трудность изготовления сложных по конфигурации отливок.

При центробежном литье сплав заливается во вращающиеся формы. Формирование отливки осуществляется под действием центробежных сил, что обеспечивает высокую плотность и механические свойства отливок. Центробежным литьем изготавливают отливки в металлических, песчаных, оболочковых формах и формах для литья по выплавляемым моделям на центробежных машинах с горизонтальной и вертикальной осью вращения. Металлические формы изложницы изготавливают из чугуна и стали. Толщина изложницы в 1,5...2 раза больше толщины отливки. В процессе литья изложницы снаружи охлаждают водой или воздухом. На рабочую поверхность изложницы наносят теплозащитные покрытия для увеличения срока их службы. Перед работой изложницы нагревают до 200 °С. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем представлены на рис. 2.7.

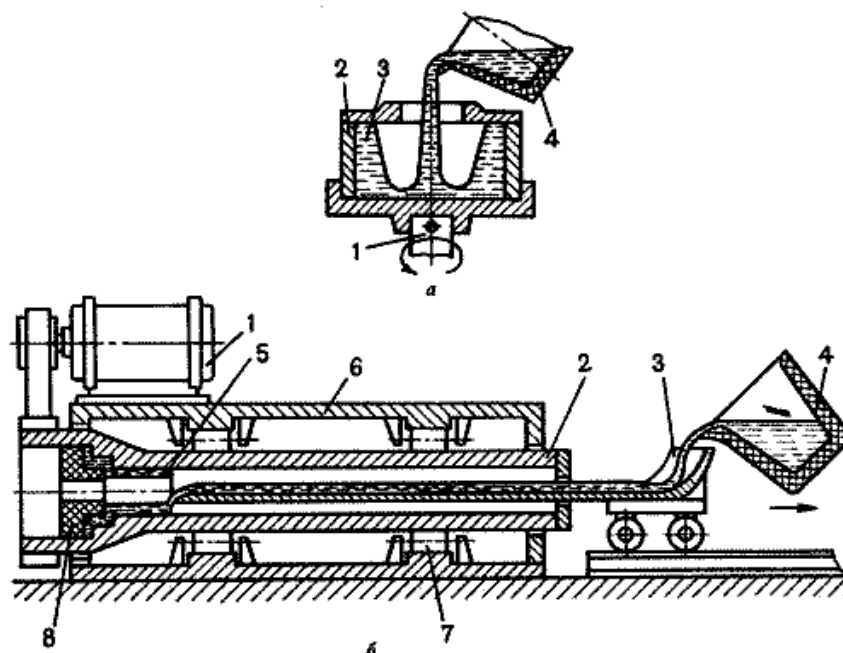


Рис. 2.7. Схемы процессов изготовления отливок центробежным литьем

При получении отливок на машинах с вращением формы вокруг вертикальной оси (рис. 3.4.а) металл из ковша 4 заливают во вращающуюся форму 2, укрепленную на шпинделе 1, который вращается от электродвигателя. Под действием центробежных сил металл прижимается к боковой стенке изложницы. Литейная форма вращается до полного затвердевания отливки. После остановки формы отливка 3 извлекается. Отливки имеют разностенность по высоте – более толстое сечение в нижней части. Применяют для получения отливок небольшой высоты – коротких втулок, колец, фланцев. При получении отливок типа тел вращения большой длины (трубы, втулки) на машинах с горизонтальной осью вращения (рис. 2.7.б) изложницу 2 устанавливают на опорные ролики 7 и закрывают кожухом 6. Изложница приводится в движение электродвигателем 1. Расплавленный металл из ковша 4 заливают через желоб 3, который в процессе заливки металла перемещается, что обеспечивает получение равностенной отливки 5. Для образования раструба трубы используют песчаный или оболочковый стержень 8. После затвердевания металла готовую отливку извлекают специальным приспособлением.

Скорость вращения формы зависит от диаметра отливки и плотности сплава, определяется

по формуле: $n > \frac{5520}{\sqrt{\gamma \times r}}$, где: γ – плотность сплава; r – внутренний радиус отливки.

Центробежным литьем изготавливают отливки из чугуна, стали, сплавов титана, алюминия, магния и цинка (трубы, втулки, кольца, подшипники качения, бандажные железнодорожных и трамвайных вагонов). Масса отливок от нескольких килограммов до 45 тонн. Толщина стенок от нескольких миллиметров до 350 мм. Центробежным литьем можно получить тонкостенные отливки из сплавов с низкой текучестью, что невозможно сделать при других способах литья.

Недостаток: наличие усадочной пористости, ликватов и неметаллических включений на внутренних поверхностях; возможность появления дефектов в виде продольных и поперечных трещин, газовых пузырей.

Преимущества – получение внутренних полостей трубных заготовок без применения стержней, экономия сплава за счет отсутствия литниковой системы, возможность получения двухслойных заготовок, что получается поочередной заливкой в форму различных сплавов

(сталь – чугун, чугун – бронза). Используют автоматические и многопозиционные карусельные машины с управлением от ЭВМ.

Литьем под давлением получают отливки в металлических формах (пресс-формах), при этом заливку металла в форму и формирование отливки осуществляют под давлением. Отливки получают на машины литья под давлением с холодной или горячей камерой прессования. В машинах с холодной камерой прессования камеры прессования располагаются либо горизонтально, либо вертикально.

На машинах с горизонтальной холодной камерой прессования (рис. 2.8) расплавленный металл заливают в камеру прессования 4 (рис.2.8.а). Затем металл плунжером 5, под давлением 40...100 МПа, подается в полость пресс-формы (рис.2.8.б), состоящей из неподвижной 3 и подвижной 1 полуформ. Внутреннюю полость в отливке получают стержнем 2. После затвердевания отливки пресс-форма раскрывается, стержень 2 извлекается (рис. 2.8.в) и отливка 7 выталкивателями 6 удаляется из рабочей полости пресс-формы.

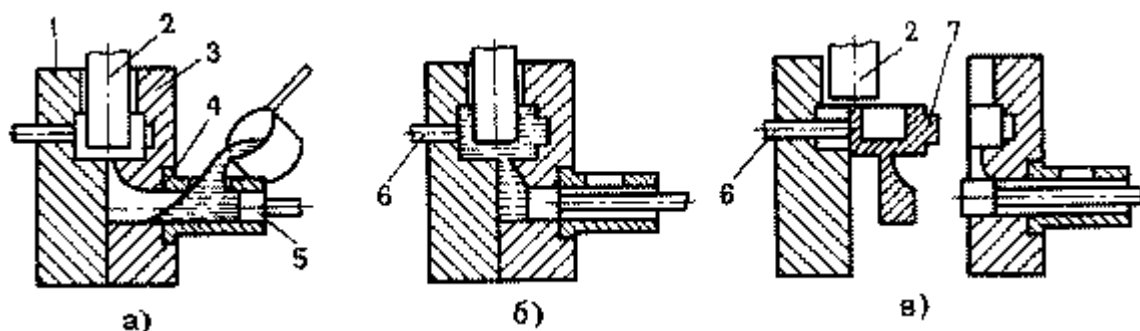


Рис.2.8. Технологические операции изготовления отливок на машинах с горизонтальной холодной камерой прессования

Перед заливкой пресс-форму нагревают до 120...320 °С. После удаления отливки рабочую поверхность пресс-формы обдувают воздухом и смазывают специальными материалами для предупреждения приваривания отливки. Воздух и газы удаляются через каналы, расположенные в плоскости разъема пресс-формы или вакуумированием рабочей полости перед заливкой металла. Такие машины применяют для изготовления отливок из медных, алюминиевых, магниевых и цинковых сплавов массой до 45 кг. При литье под давлением температура заливки сплава выбирается на 10...20 °С выше температуры плавления. Литье под давлением используют в массовом и крупносерийном производствах отливок с минимальной толщиной стенок 0,8 мм, с высокой точностью размеров и малой шероховатостью поверхности, за счет тщательного полирования рабочей полости пресс-формы, без механической обработки или с минимальными припусками, с высокой производительностью процесса. Недостатки: высокая стоимость пресс-формы и оборудования, ограниченность габаритных размеров и массы отливок, наличие воздушной пористости в массивных частях отливки.

2.5. Технологические возможности различных способов получения отливок и области применения.

При выборе способа литья для получения заготовки в первую очередь должен быть рассмотрен вопрос экономии металла. Металлоемкость можно снизить конструктивными и технологическими мероприятиями. Часто закладывается неоправданно большой запас прочности деталей, работающих при незначительных нагрузках. За счет изменения конструкции, образования выемок, изменения толщины стенок, применения коробчатых или тавровых сечений можно достичь значительной экономии металла. При анализе требований, предъявляемых в процессе эксплуатации, возможна замена дорогостоящих материалов. При выборе способа получения отливки необходимо оценить все положительные и отрицательные стороны возможных технологических процессов, провести сравнительный анализ.

При сравнении различных способов литья необходимо учитывать различные факторы.

Технологические свойства сплава. При пониженной жидкотекучести нежелательно применять литье в металлические формы. При высокой склонности к усадке нежелательно применять литье в металлические формы, так как возможно образование трещин из-за низкой податливости формы, а также литье под давлением из-за сложности пресс-формы. Возможности способов для получения отливок без дефектов литейного происхождения и для обеспечения равномерной мелкозернистой структуры, высоких механических свойств.

Технологичность конструкции детали применительно к каждому рассматриваемому способу. Сложные по конфигурации отливки получают литьем под давлением, по выплавляемым моделям, в песчаных формах. Литьем в кокиль получают отливки с простой наружной конфигурацией, а центробежным литьем – отливки типа тел вращения. Наиболее тонкостенные отливки получают литьем по выплавляемым моделям и литьем под давлением. Специальные способы литья применяют для получения мелких и средних отливок, при литье в песчаные формы габариты и масса отливок не ограничены. Специальные способы литья целесообразно применять в крупносерийном и массовом производствах

Следует выбирать способ, обеспечивающий заданную точность размеров и шероховатость поверхности. Высокое качество поверхности дает возможность сохранить при механической обработке литейную корку, имеющую повышенную твердость и износостойкость, снизить себестоимость готовых деталей за счет экономии металла. Необходимо учитывать возможности имеющегося оборудования, уровень литейной технологии и технологии механической обработки. Наиболее точным показателем, определяющим эффективность применения того или иного способа, является себестоимость.

Особенности изготовления отливок из различных сплавов

Чугун. Преобладающее количество отливок из серого чугуна изготавливают в песчаных формах. Отливки получают, как правило, получают без применения прибылей. При изготовлении отливок из серого чугуна в кокилях, в связи с повышенной скоростью охлаждения при затвердевании, начинает выделяться цементит – появление отбеливания. Для предупреждения отбела на рабочую поверхность кокиля наносят малотеплопроводные покрытия. Кокили перед работой их нагревают, а чугун подвергают модифицированию. Для устранения отбела отливки подвергают отжигу. Отливки типа тел вращения (трубы, гильзы, втулки) получают центробежным литьем.

Отливки из высокопрочного чугуна преимущественно изготавливают в песчаных формах, в оболочковых формах, литьем в кокиль, центробежным литьем. Достаточно высокая усадка

чугуна вызывает необходимость создания условий направленного затвердевания отливок для предупреждения образования усадочных дефектов в массивных частях отливки путем установки прибылей и использования холодильников. Расплавленный чугун в полость формы подводят через сужающуюся литниковую систему и, как правило, через прибыль.

Особенностью получения отливок из ковкого чугуна является то, что исходный материал – белый чугун имеет пониженную жидкотекучесть, что требует повышенной температуры заливки при изготовлении тонкостенных отливок. Для сокращения продолжительности отжига чугун модифицируют алюминием, бором, висмутом. Отливки изготавливают в песчаных формах, а также в оболочковых формах и кокилях.

Стальные отливки Углеродистые и легированные стали – 15Л, 12Х18Н9ТЛ, 30ХГСЛ, 10Х13Л, 110Г13Л – литейные стали. Литейные стали имеют пониженную жидкотекучесть, высокую усадку до 2,5%, склонны к образованию трещин. Стальные отливки изготавливают в песчаных и оболочковых формах, литьем по выплавляемым моделям, центробежным литьем. Для предупреждения усадочных раковин и пористости в отливках на массивные части устанавливают прибыли, а в тепловых узлах – используют наружные или внутренние холодильники. Для предупреждения трещин формы изготавливают из податливых формовочных смесей, в отливках предусматривают технологические ребра. Подачу расплавленного металла для мелких и средних отливок выполняют по разьему или сверху, а для массивных – сифоном. В связи с низкой жидкотекучестью площадь сечения питателей в 1,5...2 раза больше, чем при литье чугуна. Для получения высоких механических свойств, стальные отливки подвергают отжигу, нормализации и другим видам термической обработки.

Алюминиевые сплавы Основные литейные сплавы – сплавы системы алюминий – кремний (силумины)

Силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ9) имеют высокую жидкотекучесть, малую усадку (0,8...1%), не склонны к образованию горячих и холодных трещин, потому что по химическому составу близки к эвтектическим сплавам (интервал кристаллизации составляет 10...30 °С). Остальные алюминиевые сплавы имеют низкую жидкотекучесть, повышенную усадку, склонны к образованию трещин. Отливки из алюминиевых сплавов изготавливают литьем в кокиль, под давлением, в песчаные формы. Используют кокили с вертикальным разъемом. Для получения плотных отливок устанавливают массивные прибыли. Металл подводят через расширяющиеся литниковые системы с нижним подводом металла к тонким сечениям отливки. Все элементы литниковой системы размещают в плоскости разъема кокиля.

Медные сплавы Бронзы (БрО5Ц5С5, БрАЖЗЛ) и латуни (ЛЦ40Мц3А). Все медные сплавы склонны к образованию трещин. Отливки изготавливаются литьем в песчаные и оболочковые формы, а также литьем в кокиль, под давлением, центробежным.

Для предупреждения образования усадочных раковин и пористости в массивных узлах отливок устанавливают прибыли. Для предупреждения появления трещин в отливках используют форму с высокой податливостью. Для плавного поступления металла применяют расширяющиеся литниковые системы с верхним, нижним и боковым подводом. Для отделения оксидных пленок в литниковой системе устанавливают фильтры из стеклоткани.



Дефекты отливок и их исправление. Дефекты отливок по внешним признакам подразделяют: на наружные (песчаные раковины, перекося недолив); внутренние (усадочные и газовые раковины, горячие и холодные трещины),

Песчаные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки, которые возникают из-за низкой прочности формы и стержней, слабого уплотнения формы и других причин.

Перекося – смещение одной части отливки относительно другой, возникающее в результате небрежной сборки формы, износа центрирующих штырей, несоответствия знаковых частей стержня на модели и в стержневом ящике, неправильной установке стержня.

Недолив – некоторые части отливки остаются незаполненными в связи с низкой температурой заливки, недостаточной жидкотекучести, недостаточным сечением элементов литниковой системы.

Усадочные раковины – открытые или закрытые пустоты в теле отливки с шероховатой поверхностью и грубокристаллическим строением.

Возникают при недостаточном питании массивных узлов, нетехнологичной конструкции отливки, заливки перегретым металлом, неправильная установка прибулей.

Газовые раковины – открытые или закрытые пустоты с чистой и гладкой поверхностью, которая возникает из-за недостаточной газопроницаемости формы и стержней, повышенной влажности формовочных смесей и стержней, насыщенности расплавленного металла газами.

Трещины горячие и холодные – разрывы в теле отливки, возникающие при заливке чрезмерно перегретым металлом, из-за неправильной конструкции литниковой системы, неправильной конструкции отливок, повышенной неравномерной усадки, низкой податливости форм и стержней.



Методы обнаружения дефектов

Наружные дефекты отливок обнаруживаются внешним осмотром после извлечения отливки из формы или после очистки. Внутренние дефекты определяют радиографическими или ультразвуковыми методами дефектоскопии.

При использовании радиографических методов (рентгенография, гаммаграфия) на отливки воздействуют рентгеновским или гамма-излучением. С помощью этих методов выявляют наличие дефекта, размеры и глубину его залегания.

При ультразвуковом контроле ультразвуковая волна, проходящая через стенку отливки при встрече с границей дефекта (трещиной, раковиной) частично отражается. По интенсивности отражения волны судят о наличии, размерах и глубине залегания дефекта. Трещины выявляют люминесцентным контролем, магнитной или цветной дефектоскопией.



Методы исправления дефектов.

Незначительные дефекты исправляют заделкой замазками или мастиками, пропиткой различными составами, газовой или электрической сваркой.

Заделка замазками или мастиками – декоративное исправление мелких поверхностных раковин. Перед заполнением мастикой дефектные места очищают от грязи, обезжиривают. После заполнения исправленное место заглаживают, подсушивают и затирают пемзой или графитом.

Пропитывание применяют для устранения пористости. Отливки на 8...12 часов погружают в водный раствор хлористого аммония. Проникая в промежутки между кристаллами металла, раствор образует оксиды, заполняющий поры отливок.

Для устранения течи отливки из цветных металлов пропитывают бакелитовым лаком.

Газовую и электрическую сварку применяют для исправления дефектов на необрабатываемых поверхностях (раковины, сквозные отверстия, трещины). Дефекты в чугуновых отливках заваривают с использованием чугуновых электродов и присадочных прутков, в стальных отливках – электродами соответствующего состава.

2.6. Вопросы самопроверки.

- 1) Какие задачи стоят перед литейным производством и каковы способы их разрешения?
- 2) Каким требованиям должны удовлетворять литейные сплавы?
- 3) Какие виды напряжений могут возникать в отливках?
- 4) Какие меры применяют для уменьшения вероятности образования газовых раковин и газовой пористости в отливках?
- 5) Перечислите основные этапы технологического процесса по изготовлению отливок
- 6) Назовите наиболее важные критерии, которые следует учитывать при выборе рационального способа изготовления отливок.
- 7) В чем заключается сущность и каковы особенности литья в кокиль?
- 8) Назовите особенности конструкции литых деталей, получаемых литьем под давлением.
- 9) Что понимается под технологичностью литой детали? Чем модель отличается от отливки?
- 10) Какую часть детали отражают модель и стержень?
- 11) Как изготавливаются отверстия в отливках?
- 12) Для чего назначаются формовочные уклоны?

2.7. Глоссарий по теме 2

ВАГРАНКА	— Небольшая шахтная печь для плавки литейного чугуна
ВЫПЛАВЛЯЕМАЯ МОДЕЛЬ	— Одноразовая литейная модель, служит для образования оболочковой формы. В.м. изготавливают из легкоплавкого состава (парафина, стеарина, воска и др. веществ, которые плавятся при 50–90 ° С). Пастообразный состав запрессовывают в разъемную стальную, алюминиевую, гипсовую или пластмассовую пресс-форму, имеющую полость, по конфигурации и размерам точно соответствующую В.м.
ВЫПОР	— Вертикальный канал, соединенный с литниковой системой; расположен в верхней части литейной формы и предназначен для выхода газов при заполнении формы жидким металлом, контроля заполнения формы, а иногда для питания отливки металлом во время ее остывания.
КОКИЛЬ	— Металлическая литейная, многократно используемая форма, состоящая из двух или более частей в зависимости от сложности конфигурации отливки.
ЛИТЕЙНАЯ МОДЕЛЬ	— Приспособление для получения в литейной форме рабочей полости для будущей отливки.
ЛИТНИКОВАЯ	— Совокупность каналов, служащих для заполнения рабочей

СИСТЕМА	полости литейной формы расплавленным металлом, питания отливки при затвердевании и улавливания шлака и загрязнений.
ЛИТЬЕ	— Получение изделий, путем заливки расплавленных металлов в литейную форму.
Л. в кокиль	— Способ получения фасонных отливок в металлических формах-кокилях.
Л. в оболочковые формы	— Способ получения отливок в тонкостенных формах-оболочках, изготовленных из высокопрочных песчано-смоляных смесей.
Л. в песчаные формы	— Способ получения отливок в формах, изготовленных из песчано-глинистых формовочных материалов и используемых для получения одной отливки.
Л. по выплавляемым моделям	— Способ получения отливок в неразъемных, тонкостенных керамических формах, изготовленных с помощью моделей из легко плавящихся составов.
Л. под давлением	— Способ получения отливок из сплавов цветных металлов и сталей некоторых марок, путем заполнения стальных пресс-форм металлом под давлением до 300 МПа.
центробежное Л.	— Способ получения отливок путем свободной заливки металла во вращающуюся форму; при этом отливка формируется под действием центробежных сил
ОБОЛОЧКОВАЯ ФОРМА	— Разовая литейная форма из двух скрепленных полуформ с толщиной стенки 6–10 мм. О.Ф. изготавливают из смеси, состоящей из мелкого кварцевого песка и связующего фенолоформальдегидной смолы (пудвербакелита).
ОПОКА	— Приспособление в виде жесткой рамы (открытого ящика), служащего для удержания в нем формовочной смеси при изготовлении разовых песчаных форм, транспортирования их и заливки металлом.
ОТЛИВКА	— Заготовка или деталь, получаемая заливкой металла в литейную форму.
СТЕРЖНЕВОЙ ЯЩИК	— Форма для изготовления литейного стержня.
СТЕРЖНЕВЫЕ СМЕСИ	— Огнеупорные газопроницаемые и гигроскопичные смеси для изготовления литейных стержней.
УСАДКА	— Уменьшение объема металла или сплава при переходе из жидкого состояния в твердое. Является причиной образования усадочных раковин и усадочной пористости в слитках и отливках.
ФАСОННЫЕ ОТЛИВКИ	— Отливки главным образом сложных деталей машин. В отличие от других литых полуфабрикатов, не подвергаются по застывании обработке давлением – прокатке, ковке (как слитки) и переплавке (как чушки). Обычно Ф.о. подвергаются обработке резанием и, если требуется, термической обработке.
ФОРМОВКА	— Процесс изготовления литейных песчаных форм. Существует Ф. ручная – ямная или в опоках, по моделям или шаблону, и Ф. машинная – по моделям в опоках.
ФОРМОВОЧНЫЕ	— Используются в литейном производстве для приготовления

МАТЕРИАЛЫ	формовочных и стержневых смесей. Разделяются на основные – кварцевые и глинистые пески, бентониты и вспомогательные – связующие, крепители, противопригарные покрытия, клеи, модельные пудры, разделительные и др.
ФОРМОВОЧНЫЕ СМЕСИ	— Служат для изготовления песчаных литейных форм. В зависимости от сплава, массы и толщины стенок отливки в состав Ф.с. входят в определенной пропорции неорганические материалы (кварцевый песок, огнеупорная глина и др.) и органические материалы (опилки, каменноугольная пыль и др.).
единые Ф.с.	— Смеси, применяемые при серийном производстве мелких и средних отливок при машинной формовке и полностью перерабатываемые после каждого употребления.
облицовочные Ф.с.	— Смеси, используемые при изготовлении средних и крупных отливок, для замены части смеси, соприкасающейся с жидким металлом, в нее добавляют значительное количество свежих формовочных материалов, увеличивающих огнеупорность и газопроницаемость формы.
наполнительные Ф.с.	— Смесь для заполнения остальной части формы; состоит в основном из оборотной смеси (бывшей в употреблении).
ШЛАКОУЛОВИТЕЛЬ	— Часть литниковой системы формы; горизонтальный канал, в котором задерживается шлак из жидкого металла.

2.8. Используемые информационные ресурсы.

Технологии в металлургии: <http://www.metalspace.ru>

Тема 3. Основы обработки металлов давлением.

Аннотация. Данная тема раскрывает основные понятия современного металлургического производства. Предусматривается изучение производства чугуна. Стали, цветных сплавов.

Ключевые слова. *Флюсы, огнеупорные материалы, доменная печь, конвертор, мартеновская печь. Основы обработки металлов давлением*

3.1. Общая характеристика обработки металлов давлением.

Обработкой давлением называются процессы получения заготовок или деталей машин силовым воздействием инструмента на исходную заготовку из исходного материала. Пластическое деформирование при обработке давлением, состоящее в преобразовании заготовки простой формы в деталь более сложной формы того же объема, относится к малоотходной технологии. Обработкой давлением получают не только заданную форму и размеры, но и обеспечивают требуемое качество металла, надежность работы изделия. Высокая производительность обработки давлением, низкая себестоимость и высокое качество продукции привели к широкому применению этих процессов. Пластическое деформирование в обработке металлов давлением осуществляется при различных схемах напряженного и деформированного состояний, при этом исходная заготовка может быть объемным телом, прутком, листом.

При выборе металла или сплава для изготовления изделия различными способами обработки давлением учитывается способность материала к данному методу обработки.

Ковкость – свойство металла изменять свою форму под действием ударов или давления, не разрушаясь. Степень ковкости зависит от многих параметров. Наиболее существенным из них является *пластичность*, характеризующая способность материала деформироваться без разрушения. Чем выше пластичность материала, тем большую степень суммарного обжатия он выдерживает. В условиях обработки металлов давлением на пластичность влияют многие факторы: состав и структура деформируемого металла, характер напряженного состояния при деформации, неравномерность деформации, скорость деформации, температура деформации и др. Изменяя те или иные факторы, можно изменять пластичность.

Состав и структура металла. Пластичность находится в прямой зависимости от химического состава материала. С повышением содержания углерода в стали пластичность падает. Большое влияние оказывают элементы, входящие в состав сплава как примеси. Олово, сурьма, свинец, сера не растворяются в металле и, располагаясь по границам зерен, ослабляют связи между ними. Температура плавления этих элементов низкая, при нагреве под горячую деформацию они плавятся, что приводит к потере пластичности. Пластичность зависит от структурного состояния металла, особенно при горячей деформации. Неоднородность микроструктуры снижает пластичность. Однофазные сплавы, при прочих равных условиях, всегда пластичнее, чем двухфазные. Фазы имеют неодинаковые механические свойства, и деформация получается неравномерной. Мелкозернистые металлы пластичнее крупнозернистых. Металл слитков менее пластичен, чем металл прокатанной или кованой заготовки, так как литая структура имеет резкую неоднородность зерен, включения и другие дефекты.

Характер напряженного состояния. Один и тот же материал проявляет различную пластичность при изменении схемы напряженного состояния. Еще в 1912 году немецкий ученый Карман осаживал образцы из мрамора и песчаника, помещенные в толстостенный цилиндр, в который нагнетался глицерин под давлением до 170 МН/м^2 . Деформация происходила при схеме всестороннего сжатия. В результате остаточная деформация образцов составила 9 %, в дальнейшем удалось достигнуть деформации в 78 %. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Появление в схеме растягивающих напряжений снижает пластичность. Самая низкая пластичность наблюдается при схеме всестороннего растяжения.

Неравномерность деформации. Чем больше неравномерность деформации, тем ниже пластичность. Неравномерность деформации вызывает появление дополнительных напряжений. Растягивающие напряжения всегда снижают пластичность и способствуют хрупкому разрушению. Кроме того, неравномерность напряженного состояния понижает механическую прочность материала, так как напряжения от внешней нагрузки суммируются с остаточными растягивающими напряжениями, то разрушение наступает при меньшей нагрузке.

Скорость деформации. С повышением скорости деформации в условиях горячей деформации пластичность снижается. Имеющаяся неравномерность деформации вызывает дополнительные напряжения, которые снимаются только в том случае, если скорость разупрочняющих процессов не меньше скорости деформации.

Влияние температуры. Качественная зависимость пластичности от температуры представлена на рис.3.1.

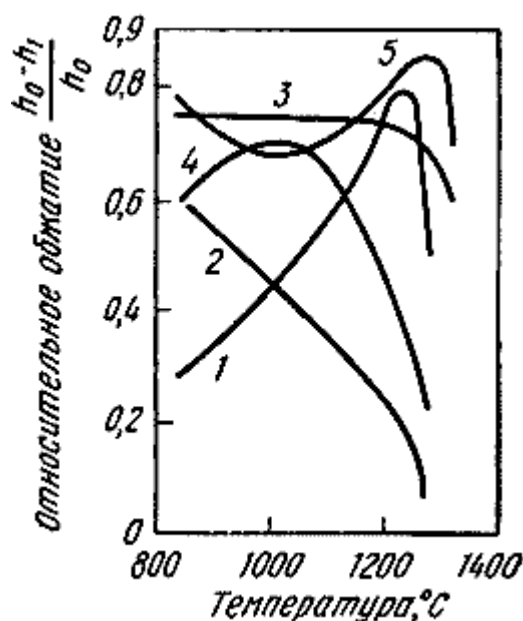


Рис. 3.1. Влияние температуры на пластичность сталей

Влияние температуры неоднозначно. Малоуглеродистые и среднеуглеродистые стали, с повышением температуры, становятся более пластичными (1). Высоколегированные стали имеют большую пластичность в холодном состоянии (2). Для шарикоподшипниковых сталей пластичность практически не зависит от температуры (3). Отдельные сплавы могут иметь интервал повышенной пластичности (4). Техническое железо в интервале $800...1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$ характеризуется понижением пластических свойств (5). При температурах, близких к

температуре плавления пластичность резко снижается из-за возможного перегрева и пережога.

3.2. Основные виды ОМД. Прокатное производство.

По назначению процессы обработки металлов давлением группируют следующим образом:

- для получения изделий постоянного поперечного сечения по длине (прутков, проволоки, лент, листов), применяемых в строительных конструкциях или в качестве заготовок для последующего изготовления деталей – прокатка, волочение, прессование;
- для получения деталей или заготовок, имеющих формы и размеры, приближенные к размерам и формам готовых деталей, требующих механической обработки для придания им окончательных размеров и заданного качества поверхности – ковка, штамповка.

Основными схемами деформирования объемной заготовки являются:

- сжатие между плоскостями инструмента – ковка;
- ротационное обжатие вращающимися валками – прокатка;
- затекание металла в полость инструмента – штамповка;
- выдавливание металла из полости инструмента – прессование;
- вытягивание металла из полости инструмента – волочение.

Характер пластической деформации зависит от соотношения процессов упрочнения и разупрочнения. Губкиным С.И. предложено различать виды деформации и, соответственно, виды обработки давлением.

Горячая деформация – деформация, после которой металл не получает упрочнения. Рекристаллизация успевает пройти полностью, новые равноосные зерна полностью заменяют деформированные зерна, искажения кристаллической решетки отсутствуют. Деформация имеет место при температурах выше температуры начала рекристаллизации.

При *холодной деформации* разупрочняющие процессы не происходят. Температура холодной деформации ниже температуры начала возврата. Холодная и горячая деформации не связаны с деформацией с нагревом или без нагрева, а зависят только от протекания процессов упрочнения и разупрочнения. Поэтому, например, деформация свинца, олова, кадмия и некоторых других металлов при комнатной температуре является с этой точки зрения горячей деформацией.

Прокатка – это способ обработки пластическим деформированием – наиболее распространенный. Прокатке подвергают до 90 % всей выплавляемой стали и большую часть цветных металлов. Способ зародился в XVIII веке и, претерпев значительное развитие, достиг высокого совершенства.

Сущность процесса: заготовка обжимается (сдавливается), проходя в зазор между вращающимися валками, при этом, она уменьшается в своем поперечном сечении и увеличивается в длину. Форма поперечного сечения называется профилем. Процесс прокатки обеспечивается силами трения между вращающимся инструментом и заготовкой, благодаря которым заготовка перемещается в зазоре между валками, одновременно деформируясь. В момент захвата металла со стороны каждого валка действуют на металл две силы: нормальная сила N и касательная сила трения T (рис. 3.2).

Угол α – угол захвата, дуга, по которой валок соприкасается с прокатываемым металлом – дуга захвата, а объем металла между дугами захвата – очаг деформации.

Возможность осуществления прокатки определяется условием захвата металла валками или соотношением $T' > N'$, где: T' – втягивающая сила – проекция силы трения T на горизонтальную ось; N' – выталкивающая сила – проекция нормальной реакции валков N на горизонтальную ось. При этом результирующая сила будет направлена в сторону движения металла. Условие захвата металла можно выразить: $T \times \cos \alpha > N \times \sin \alpha$. Выразив силу трения T через нормальную силу N и коэффициент трения $f: T = f \times N$, и, подставив это выражение в условие захвата, получим: $f \times \cos \alpha > \sin \alpha$ или $f > \operatorname{tg} \alpha$.

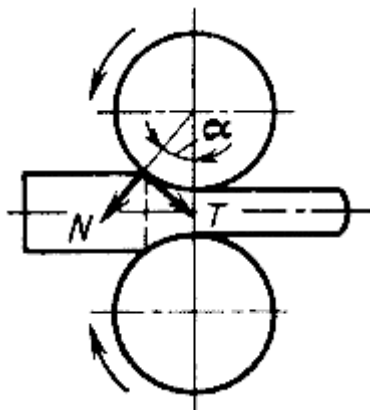


Рис. 3.2. Схема сил, действующих при прокатке

Таким образом, для захвата металла валками необходимо, чтобы коэффициент трения между валками и заготовкой был больше тангенса угла захвата. Коэффициент трения можно увеличить применением насечки на валках. При прокатке стали $\alpha = 20 \dots 25^\circ$, при горячей прокатке листов и полос из цветных металлов – $\alpha = 12 \dots 15^\circ$, при холодной прокатке листов – $\alpha = 2 \dots 10^\circ$.

Степень деформации характеризуется показателями:

– абсолютное обжатие: $\Delta h = H - h$ (H, h – начальная и конечная высоты заготовки);

– относительное обжатие: $\varepsilon = \frac{H - h}{H} \times 100\%$

Площадь поперечного сечения заготовки всегда уменьшается. Поэтому для определения деформации (особенно когда обжатие по сечению различно) используют показатель, называемый *вытяжкой* (коэффициентом вытяжки).

$\mu = \frac{l_1}{l_0} = \frac{F_0}{F_1}$, где: l_0, F_0 – первоначальные длина и площадь поперечного сечения, l_1, F_1 – те же величины после прокатки. Вытяжка обычно составляет $1,1 \dots 1,6$ за проход, но может быть и больше.

Когда требуется высокая прочность и пластичность, применяют заготовки из сортового или специального проката. В процессе прокатки литые заготовки подвергают многократному обжатию в валках прокатных станов, в результате чего повышается плотность материала за счет залечивания литейных дефектов, пористости, микротрещин. Это придает заготовкам из проката высокую прочность и герметичность при небольшой их толщине.

Существуют три основных способа прокатки, имеющих определенное отличие по характеру выполнения деформации: продольная, поперечная, поперечно – винтовая (рис.3.3).

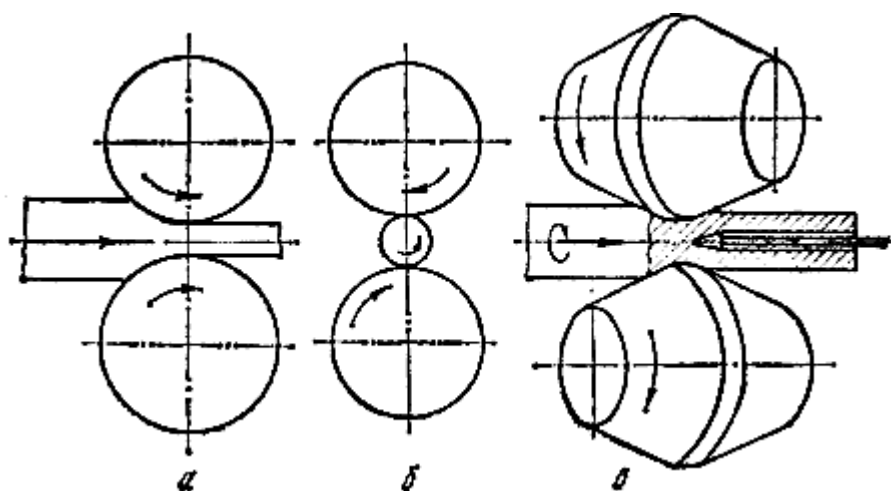


Рис. 3.3. Схемы основных видов прокатки:

а – продольная; б – поперечная; в – поперечно – винтовая

При *продольной* прокатке деформация осуществляется между вращающимися в разные стороны валками (рис.4.3 а). Заготовка втягивается в зазор между валками за счет сил трения. Этим способом изготавливается около 90 % проката: весь листовой и профильный прокат.

Поперечная прокатка (рис. 3.3.б). Оси прокатных валков и обрабатываемого тела параллельны или пересекаются под небольшим углом. Оба валка вращаются в одном направлении, а заготовка круглого сечения – в противоположном. В процессе поперечной прокатки обрабатываемое тело удерживается в валках с помощью специального приспособления. Обжатие заготовки по диаметру и придание ей требуемой формы сечения обеспечивается профилировкой валков и изменением расстояния между ними. Данным способом производят специальные периодические профили, изделия представляющие тела вращения – шары, оси, шестерни.

Поперечно – винтовая прокатка (рис. 3.3.в). Валки, вращающиеся в одну сторону, установлены под углом друг другу. Прокатываемый металл получает еще и поступательное движение. В результате сложения этих движений каждая точка заготовки движется по винтовой линии. Применяется для получения пустотелых трубных заготовок.

В качестве инструмента для прокатки применяют *валки прокатные*, конструкция которых представлена на рис. 3.4. В зависимости от прокатываемого профиля валки могут быть гладкими (рис.3.4.а), применяемыми для прокатки листов, лент и т.п. и калиброванными (ручьевыми) (рис. 3.4.б) для получения сортового проката.

Ручей – профиль на боковой поверхности валка. Промежутки между ручьями называются *буртами*. Совокупность двух ручьев образует полость, называемую *калибром*, каждая пара валков образует несколько калибров. Система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение требуемого профиля заданных размеров называется *калибровкой*.

Валки состоят из рабочей части – бочки 1, шеек 2 и трфы 3. Шейки валков вращаются в подшипниках, которые, у одного из валков, могут перемещаться специальным нажимным механизмом для изменения расстояния между валками и регулирования взаимного расположения осей. Трфа предназначена для соединения валка с муфтой или шпинделем.

Используются роликовые подшипники с низким коэффициентом трения, $\mu = 0,003 \dots 0,005$, что обеспечивает большой срок службы

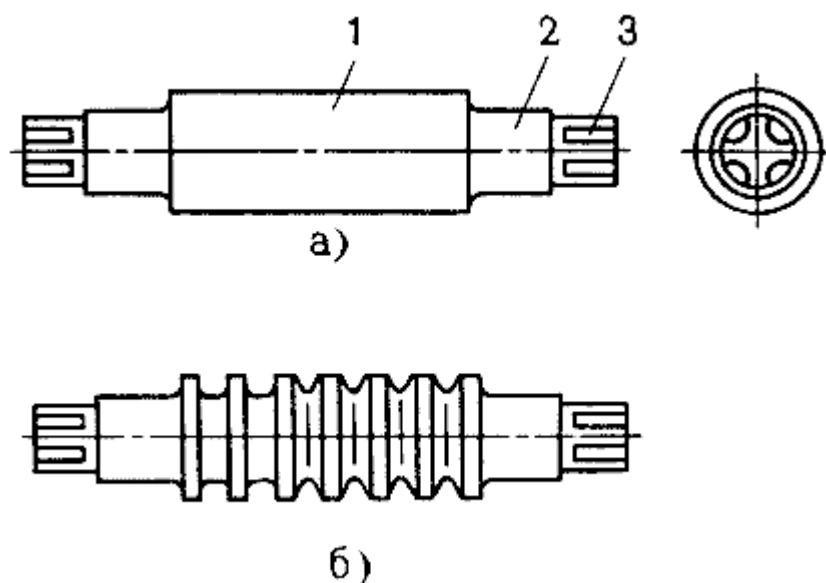


Рис. 3.4. Прокатные валки: а – гладкий ; б – калиброванный

Исходным продуктом для прокатки могут служить квадратные, прямоугольные или многогранные слитки, прессованные плиты или кованные заготовки. Процесс прокатки осуществляется как в холодном, так и горячем состоянии. Начинается в горячем состоянии и проводится до определенной толщины заготовки. Тонкостенные изделия в окончательной форме получают, как правило, в холодном виде (с уменьшением сечения увеличивается теплоотдача, поэтому горячая обработка затруднена).

Основными технологическими операциями прокатного производства являются подготовка исходного металла, нагрев, прокатка и отделка проката.

Подготовка исходных металлов включает удаление различных поверхностных дефектов (трещин, царапин, закатов), что увеличивает выход готового проката.

Нагрев слитков и заготовок обеспечивает высокую пластичность, высокое качество готового проката и получение требуемой структуры. Необходимо строгое соблюдение режимов нагрева. Основное требование при нагреве: равномерный прогрев слитка или заготовки по сечению и длине до соответствующей температуры за минимальное время с наименьшей потерей металла в окалину и экономным расходом топлива. Температуры начала и конца горячей деформации определяются в зависимости от температур плавления и рекристаллизации. Прокатка большинства марок углеродистой стали начинается при температуре 1200...1150 °С, а заканчивается при температуре 950...900°С. Существенное значение имеет режим охлаждения. Быстрое и неравномерное охлаждение приводит к образованию трещин и короблению. При *прокатке* контролируется температура начала и конца процесса, режим обжата, настройка валков в результате наблюдения за размерами и формой проката. Для контроля состояния поверхности проката регулярно отбирают пробы.

Отделка проката включает резку на мерные длины, правку, удаление поверхностных дефектов и т.п. Готовый прокат подвергают конечному контролю.

Процесс прокатки осуществляют на специальных прокатных станах.

Прокатный стан – комплекс машин для деформирования металла во вращающихся валках и выполнения вспомогательных операций (транспортирование, нагрев, термическая обработка, контроль и т.д.).

Оборудование для деформирования металла называется основным и располагается на *главной линии прокатного стана* (линии рабочих клетей).

Главная линия прокатного стана состоит из рабочей клетки и линии привода, включающей двигатель, редуктор, шестеренную клетку, муфты, шпиндели. Схема главной линии прокатного стана представлена на рис. 3.5.

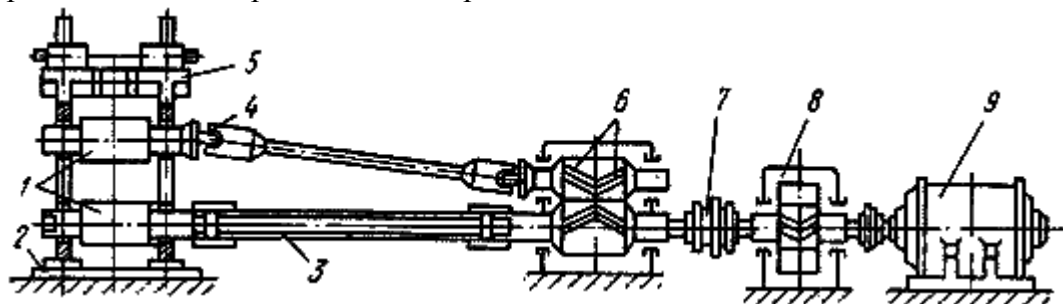


Рис.3.5. Схема главной линии прокатного стана

1 – прокатные валки; 2 – плита; 3 – треновый шпиндель; 4 – универсальный шпиндель; 5 – рабочая клетка; 6 – шестеренная клетка; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигатель

Прокатные валки 1 установлены в рабочей клетке 5, которая воспринимает давление прокатки. Определяющей характеристикой рабочей клетки являются размеры прокатных валков: диаметр (для сортового проката) или длина (для листового проката) бочки. В зависимости от числа и расположения валков в рабочей клетке различают прокатные станы: двухвалковые (дуо-стан), трехвалковые (трио-стан), четырехвалковые (кварто-стан) и универсальные. По назначению прокатные станы подразделяют на станы для производства полупродукта и станы для выпуска готового проката.

Нагрев металла осуществляют в пламенных и электрических печах. По распределению температуры печи могут быть камерные и методические. В камерных печах периодического нагрева температура одинакова по всему рабочему пространству. В методических печах температура рабочего пространства постоянно повышается от места загрузки заготовок до места их выгрузки. Металл нагревается постепенно, методически. Печи характеризуются высокой производительностью. Применяются в прокатных и кузнечно-штамповочных цехах для нагрева слитков из цветных металлов. Крупные слитки перед прокаткой нагревают в нагревательных колодцах – разновидности камерных, пламенных печей.

Изделия, полученные прокаткой, часто требуют правки. Иногда правку выполняют в горячем состоянии, например, при производстве толстых листов. Но обычно в холодном состоянии, так как последующее охлаждение после горячей правки может вызвать дополнительное изменение формы. Процесс правки заключается в однократном или многократном пластическом изгибе искривленных участков полосы, каждый раз в обратном направлении. Правку можно выполнять и растяжением полосы, если напряжения растяжения будут превышать предел текучести материала.

Форма поперечного сечения называется профилем проката. Совокупность профилей различной формы и размеров - *сортамент*. В зависимости от профиля прокат делится на четыре основные группы: листовой, сортовой, трубный и специальный. В зависимости от того нагретая или холодная заготовка поступает в прокатные валки – горячий и холодный. Поперечной прокаткой накатывают зубья шестерен между двумя вращающимися валками. Существуют станы для прокатки ребристых труб, для накатки резьб и т.д.

Листовой прокат из стали и цветных металлов подразделяется на толстолистовой (4...60 мм), тонколистовой (0,2...4мм) и жечь (менее 0,2 мм). Толстолистовой прокат

получают в горячем состоянии, другие виды листового проката – в холодном состоянии. Прокатку листов и полос проводят в гладких валках. Среди сортового проката различают:

- заготовки круглого, квадратного и прямоугольного сечения дляковки и прокатки;
- простые сортовые профили (круг, квадрат, шестигранник, полоса, лента);
- фасонные сортовые профили:
- профили общего назначения (уголок, швеллер, тавр, двутавр);
- профили отраслевого назначения (железнодорожные рельсы, автомобильный обод);
- профили специального назначения (профиль для рессор, напильников).

3.3. Прессование и волочение.

Прессование – вид обработки давлением, при котором металл выдавливается из замкнутой полости через отверстие в матрице, соответствующее сечению прессуемого профиля. Это современный способ получения различных профильных заготовок: прутков диаметром 3...250 мм, труб диаметром 20...400 мм с толщиной стенки 1,5...15 мм, профилей сложного сечения сплошных и полых с площадью поперечного сечения до 500 см². Впервые метод был научно обоснован академиком Курнаковым Н.С. в 1813 году и применялся главным образом для получения прутков и труб из оловянисто-свинцовых сплавов. В настоящее время в качестве исходной заготовки используют слитки или прокат из углеродистых и легированных сталей, а также из цветных металлов и сплавов на их основе (медь, алюминий, магний, титан, цинк, никель, цирконий, уран, торий).

Технологический процесс прессования включает операции:

- подготовка заготовки к прессованию (разрезка, предварительное обтачивание на станке, так как качество поверхности заготовки оказывает влияние на качество и точность профиля);
- нагрев заготовки с последующей очисткой от окалины;
- укладка заготовки в контейнер ;
- непосредственно процесс прессования;
- отделка изделия (отделение пресс-остатка, разрезка).

Прессование производится на гидравлических прессах с вертикальным или горизонтальным расположением плунжера, мощностью до 10 000 т. Применяются две метода прессования: *прямой* и *обратный* (рис. 3.6.)

При прямом прессовании движение пуансона пресса и истечение металла через отверстие матрицы происходят в одном направлении. При прямом прессовании требуется прикладывать значительно большее усилие, так как часть его затрачивается на преодоление трения при перемещении металла заготовки внутри контейнера. Пресс-остаток составляет 18...20 % от массы заготовки (в некоторых случаях – 30...40 %). Но процесс характеризуется более высоким качеством поверхности, схема прессования более простая.

При обратном прессовании заготовку закладывают в глухой контейнер, и она при прессовании остается неподвижной, а истечение металла из отверстия матрицы, которая крепится на конце полого пуансона, происходит в направлении, обратном движению пуансона с матрицей. Обратное прессование требует меньших усилий, пресс-остаток составляет 5...6 %. Однако меньшая деформация приводит к тому, что прессованный прутки сохраняет следы структуры литого металла. Конструктивная схема более сложная

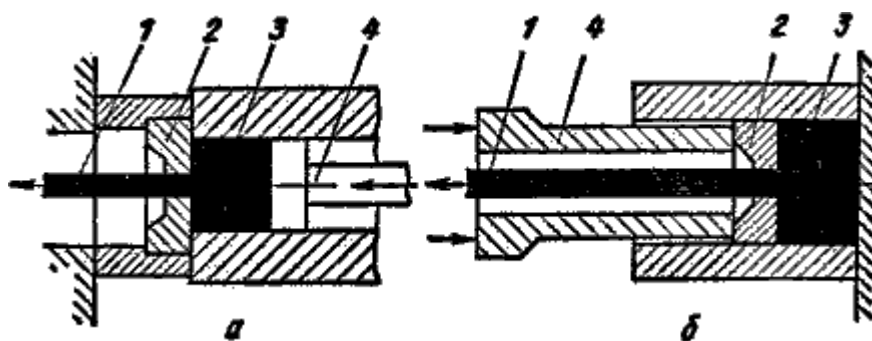


Рис. 3.6. Схема прессования прутка прямым (а) и обратным (б) методом
1 – готовый пруток; 2 – матрица; 3 – заготовка; 4 – пуансон

Процесс прессования характеризуется следующими основными параметрами: коэффициентом вытяжки, степенью деформации и скоростью истечения металла из очака матрицы. При прессовании металл подвергается всестороннему неравномерному сжатию и имеет очень высокую пластичность.



К основным преимуществам процесса относятся:

- возможность обработки металлов, которые из-за низкой пластичности другими методами обработать невозможно;
- возможность получения практически любого профиля поперечного сечения;
- получение широкого сортамента изделий на одном и том же прессовом оборудовании с заменой только матрицы;
- высокая производительность, до 2...3 м/мин.



Недостатки процесса:

- повышенный расход металла на единицу изделия из-за потерь в виде пресс-остатка;
- появление в некоторых случаях заметной неравномерности механических свойств по длине и поперечному сечению изделия;
- высокая стоимость и низкая стойкость прессового инструмента;
- высокая энергоемкость.

Сущность процесса *волочения* заключается в протягивании заготовок через сужающееся отверстие (фильеру) в инструменте, называемом волокой. Конфигурация отверстия определяет форму получаемого профиля. Схема волочения представлена на рис.3.7.

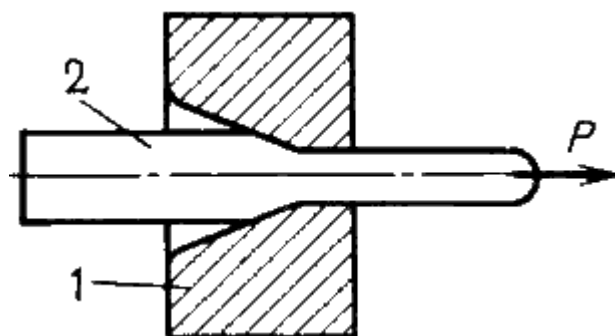


Рис.3.7. Схема волочения

Волочением получают проволоку диаметром 0,002...4 мм, прутки и профили фасонного сечения, тонкостенные трубы, в том числе и капиллярные. Волочение применяют также для калибровки сечения и повышения качества поверхности обрабатываемых изделий. Волочение чаще выполняют при комнатной температуре, когда пластическую деформацию сопровождает наклеп, это используют для повышения механических характеристик металла, например, предел прочности возрастает в 1,5...2 раза. Исходным материалом может быть горячекатаный прутки, сортовой прокат, проволока, трубы. Волочением обрабатывают стали различного химического состава, цветные металлы и сплавы, в том числе и драгоценные.

Основной инструмент при волочении – волоки различной конструкции. Волока работает в сложных условиях: большое напряжение сочетается с износом при протягивании, поэтому их изготавливают из твердых сплавов. Для получения особо точных профилей волоки изготавливают из алмаза.

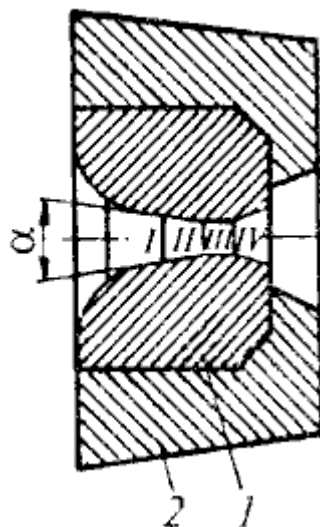


Рис.3.8. Общий вид волоки

Волока 1 закрепляется в обойме 2. Волоки имеют сложную конфигурацию, ее составными частями являются: заборная часть I, включающая входной конус и смазочную часть; деформирующая часть II с углом в вершине α ($6...18^\circ$ – для прутков, $10...24^\circ$ – для труб); цилиндрический калибрующий поясок III длиной 0,4...1 мм; выходной конус IV. Технологический процесс волочения осуществляется на специальных волоочильных станах. В зависимости от типа тянущего устройства различают станы: с прямолинейным движением протягиваемого металла (цепной, реечный); с наматыванием обрабатываемого металла на барабан (барабанный). Станы барабанного типа обычно применяются для получения проволоки. Число барабанов может достигать до двадцати. Скорость волочения достигает 50 м/с. Процесс волочения характеризуется параметрами: коэффициентом вытяжки и степенью деформации.

3.4. Ковка.

Ковка – способ обработки давлением, при котором деформирование нагретого (реже холодного) металла осуществляется или многократными ударами молота или однократным давлением прессы. Формообразование при ковке происходит за счет пластического течения металла в направлениях, перпендикулярных к движению деформирующего инструмента. При свободной ковке течение металла ограничено частично, трением на контактной

поверхности деформируемый металл – поверхность инструмента: бойков плоских или фигурных, подкладных штампов. Ковкой получают разнообразные поковки массой до 300 т. Первичной заготовкой для поковок являются:

- слитки, для изготовления массивных крупногабаритных поковок;
- прокат сортовой горячекатаный простого профиля (круг, квадрат).

Ковка может производиться в горячем и холодном состоянии.

Холодной ковке поддаются драгоценные металлы – золото, серебро; а также медь. Технологический процесс холоднойковки состоит из двух чередующихся операций: деформации металла и рекристаллизационного отжига. В современных условиях холодная ковка встречается редко, в основном в ювелирном производстве.

Горячая ковка применяется для изготовления различных изделий, а также инструментов: чеканов, зубил, молотков и т.п. Материалом для горячейковки являются малоуглеродистые стали, углеродистые инструментальные и некоторые легированные стали. Каждая марка стали имеет определенный интервал температур начала и концаковки, зависящий от состава и структуры обрабатываемого металла.

Операцииковки:

Биллетирование – превращение слитка в болванку или заготовку: включает сбивку ребер и устранение конусности. Обжатие при биллетировании составляет 5...20 %. Прокровка слитка предназначена для обжатия металла в углах слитка с целью предварительного деформирования литой структуры – дендритов, которые имеют стыки в этих углах. Биллетирование способствует заварке воздушных пузырей и других подкорковых дефектов литой структуры, созданию пластичного поверхностного слоя металла, благоприятно влияющего на дальнейшую деформацию. После биллетирования производят обрубку донной части слитка.

Рубка – применяется для отделения от основной заготовки негодных частей или для разделения заготовки на части. Рубка производится в холодном и горячем состоянии. В холодном состоянии рубят тонкие и узкие полосы и прутки сечением 15...20 мм. Более толстые заготовки нагревают.

Осадка – операция обработки давлением, в результате которой уменьшается высота и одновременно увеличиваются поперечные размеры заготовок. Осадку применяют для получения формы поковки, с целью уменьшения глубины прошивки, для обеспечения соответствующего расположения волокон в будущей детали (при изготовлении шестерней обеспечивается повышенная прочность зубьев в результате радиального расположения волокон), как контрольную операцию (из-за значительной деформации по периметру на боковой поверхности вскрываются дефекты). Осадке подвергают заготовки, для которых высота не превышает 2,5...3 диаметра. В противном случае возможен или продольный изгиб заготовки, или образование седлообразности.

Высадка – кузнечная операция, заключающаяся в деформировании части заготовки (концевой части или середины). Осадка разгонкой торца позволяет уменьшить высоту и увеличить площадь ранее осаженой заготовки. Локализация деформации позволяет уменьшить усилие осадки.

Протяжка (вытяжка) – кузнечная операция, в результате которой происходит увеличение длины заготовки за счет уменьшения площади ее поперечного сечения. Протяжка не только изменяет форму заготовок, но и улучшает качество металла. Операция заключается в нанесении последовательных ударов и перемещении заготовки, при этом между бойками во время удара находится только часть заготовки.

Прошивка – операция получения в заготовке сквозных или глухих отверстий за счет вытеснения металла. Инструментом для прошивки служат прошивки сплошные и пустотелые. Пустотелые прошивают отверстия большого диаметра (400...900 мм)

Гибка – операция придания заготовке или ее части изогнутой формы по заданному контуру. Гибка сопровождается искажением первоначальной формы поперечного сечения заготовки и уменьшением его площади в месте изгиба (утяжка). Этой операцией получают угольники, скобы, крючки, кронштейны.

Скручивание – операция, заключающаяся в повороте одной части поковки вокруг общей оси по отношению к другой ее части под определенным углом. К скручиванию относится и свивание нескольких тонких прутков (проволок) в шнуры.

Технологический процесс ковки включает операции: резку исходной заготовки в требуемый размер, нагрев материала до требуемой температуры, формообразующую операцию, очистку заготовок от окалины, контроль поковки. Очистку поковок от окалины осуществляют в галтовочных барабанах, обдувкой стальной дробью, травлением в водных растворах серной или соляной кислоты. При контроле поковок выявляют внешние и внутренние дефекты, проверяют соответствие геометрическим и функциональным техническим условиям.

В качестве оборудования применяются ковочные молоты и ковочные прессы. Оборудование выбирают в зависимости от режима ковки данного металла или сплава, массы поковки и ее конфигурации. Необходимую мощность оборудования определяют по приближенным формулам или справочным таблицам.

Молоты – машины динамического ударного действия. Продолжительность деформации на них составляет тысячные доли секунды. Металл деформируется за счет энергии, накопленной падающими частями молота к моменту их соударения с заготовкой. Для получения поковок массой до 20 кг применяют ковочные пневматические молоты, работающие на сжатом воздухе. Сила удара определяется силой давления сжатого воздуха, и может регулироваться в широких пределах. Масса падающих частей составляет 50...1000 кг. Основные параметры молотов регламентируются ГОСТами. Для получения поковок массой до 350 кг применяют ковочные паровоздушные молоты. Они приводятся в действие паром или сжатым воздухом давлением 0,7...0,9 МПа. Масса падающих частей составляет 1000...8000 кг. Параметры регламентируются ГОСТами.

Прессы ковочные гидравлические – машины статического действия. Продолжительность деформации составляет до десятков секунд. Металл деформируется приложением силы, создаваемой с помощью жидкости (водной эмульсии или минерального масла), подаваемой в рабочий цилиндр прессы. Выбираются прессы по номинальному усилию, которое составляет 5...100 МН. Применяют в основном для получения крупных заготовок из слитков.

3.5. Сущность и разновидность объемной штамповки. Листовая штамповка.

Объемной штамповкой называют процесс получения поковок, при котором формообразующую полость штампа, называемую ручьем, принудительно заполняют металлом исходной заготовки и перераспределяют его в соответствии с заданной чертежом конфигурацией. Применение объемной штамповки оправдано при серийном и массовом производстве. При использовании этого способа значительно повышается производительность труда, снижаются отходы металла, обеспечиваются высокие точность формы изделия и качество поверхности. Штамповкой можно получать очень сложные по форме изделия, которые невозможно получить приемами свободной ковки. Объемную

штамповку осуществляют при разных температурах исходной заготовки и, в соответствии с температурой, делят на холодную и горячую. Наиболее широкое распространение получила горячая объемная штамповка (ГОШ), которую ведут в интервале температур, обеспечивающих снятие упрочнения. Исходным материалом для горячей объемной штамповки являются сортовой прокат, прессованные прутки, литая заготовка, в крупносерийном производстве – периодический прокат, что обеспечивает сокращение подготовительных операций.

Основная операция ГОШ может быть выполнена за один или несколько переходов. При каждом переходе формообразование осуществляется специальной рабочей полостью штампа – *ручьем (гравюрой)*. Переходы и ручки делятся на две группы: заготовительные и штамповочные. Схема технологического процесса получения сложной заготовки в нескольких ручьях представлена на рис.3.9.

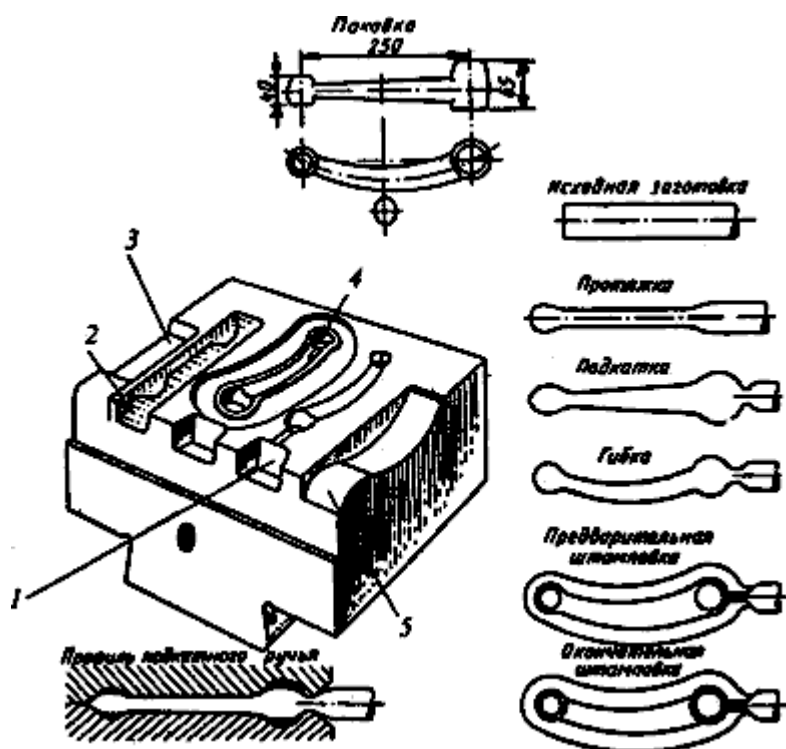


Рис. 3.9. Стадии получения сложной поковки в нескольких ручьях

1 – черновой ручей; 2 – подкатной ручей; 3 – протяжной ручей; 4 – чистовой ручей, 5 – гибочный ручей

Оборудование для горячей объемной штамповки молоты штамповочные, горячештамповочные кривошипные прессы, горизонтально-ковочные машины. Процессы штамповки на этих машинах имеют свои особенности, обусловленные устройством и принципом их действия.

Холодная штамповка производится в штампах без нагрева заготовок и сопровождается деформационным упрочнением металла. Холодная штамповка является одним из наиболее прогрессивных методов получения высококачественных заготовок небольших и точных из стали и цветных металлов. Она обеспечивает достаточно высокую точность и малую шероховатость поверхности при малых отходах металла и низкой трудоемкости и себестоимости изготовления изделий. Возможность осуществления холодной штамповки и качество заготовок определяются качеством исходного материала. Большое значение имеет подготовка поверхности заготовок: удаление окалины, загрязнений и поверхностных

дефектов. Процессы холодной штамповки часто выполняют за несколько технологических переходов, постепенно приближая форму и размеры заготовок к форме и размерам готовых изделий и осуществляя промежуточный отжиг для снятия наклепа и восстановления пластических свойств металла. В зависимости от характера деформирования и конструкции штампов холодную штамповку делят на объемную и листовую. Холодную объемную штамповку выполняют на прессах или специальных холодноштамповочных автоматах. Основными ее разновидностями являются: высадка, выдавливание, объемная формовка, чеканка. Объемной формовкой изготавливают пространственные детали сложных форм, сплошные и с отверстиями. Холодная объемная формовка требует значительных удельных усилий вследствие высокого сопротивления металла деформированию в условиях холодной деформации и упрочнения металла в процессе деформации. Упрочнение сопровождается снижением пластичности металла. Для облегчения процесса деформирования оформление детали расчленяется на переходы, между которыми заготовку подвергают рекристаллизационному отжигу. Каждый переход осуществляют в специальном штампе, а между переходами обрезают облой для уменьшения усилия деформирования и повышения точности размеров деталей. Заготовкой служит полоса или прутки, причем процесс штамповки может осуществляться непосредственно в полосе или прутке или из штучных заготовок.

Листовая штамповка – один из видов холодной обработки давлением, при котором листовой материал деформируется в холодном или подогретом состоянии.

Листовой штамповкой изготавливаются разнообразные плоские и пространственные детали – от мелких, массой от долей грамма и размерами в доли миллиметра (секундная стрелка часов), до средних (металлическая посуда, крышки, кронштейны) и крупных (облицовочные детали автомобилей). Толщина заготовки при листовой штамповке обычно не более 10 мм, но иногда может превышать 20 мм, в этом случае штамповка осуществляется с предварительным подогревом до ковочных температур.

При листовой штамповке используют: низкоуглеродистые стали, пластичные легированные стали, цветные металлы и сплавы на их основе, драгоценные металлы, а также неметаллические материалы: органическое стекло, фетр, целлулоид, текстолит, войлок и др. Листовую штамповку широко применяют в различных отраслях промышленности, особенно, автомобилестроении, ракетостроении, самолетостроении, приборостроении, электротехнической промышленности.



Основные преимущества листовой штамповки:

- возможность изготовления прочных легких и жестких тонкостенных деталей простой и сложной формы, получить которые другими способами невозможно или затруднительно;
- высокие точность размеров и качество поверхности, позволяющие до минимума сократить механическую обработку;
- сравнительная простота механизации и автоматизации процессов штамповки, обеспечивающая высокую производительность (30 000...40 000 деталей в смену с одной машины);
- хорошая приспособляемость к масштабам производства, при которой листовая штамповка может быть экономически выгодна и в массовом, и в мелкосерийном производствах.

Холодная листовая штамповка заключается в выполнении в определенной последовательности разделительных и формоизменяющих операций, посредством которых

исходным заготовкам придают форму и размеры детали. Все операции выполняются при помощи специальных инструментов – штампов, которые имеют различные конструкции в зависимости от назначения. Штампы для листовой штамповки делятся по технологическому признаку в зависимости от выполняемой операции: вырубные, гибочные, вытяжные и т.д. В зависимости от числа выполняемых операций различают одно- и многооперационные штампы.

3.6. Вопросы самопроверки.

- 1) Какая из основных схем пластического деформирования наиболее благоприятна для формоизменения малопластичных сплавов?
- 2) Почему сталь прессуют в горячем состоянии?
- 3) Какие факторы обуславливают точность тонколистового проката?
- 4) Из каких соображений выбирают плоскость разреза штампов при проектировании поковки?
- 5) Каким способом целесообразно изготовить поковку вала массой 3000 кг при величине партии 50 шт.?
- 6) Какова последовательность операций при штамповке обычной канцелярской скрепки?
- 7) Каковы отличительные особенности мероприятий по технике безопасности и охране окружающей среды в кузнечно-штамповочных цехах?
- 8) Что называется наклёпом ?
- 9) Как изменяются свойства металла при наклёпе?
- 10) Что такое рекристаллизация металлов?
- 11) При какой температуре обработка металлов давлением считается горячей?
- 12) От чего зависит наибольшая допустимая степень пластической деформации?
- 13) Какие факторы влияют на пластичность металла и его сопротивлению деформированию?

3.7. Глоссарий по теме 3.

БЛЮМ	— Полупродукт металлургического производства в виде стальной заготовки квадратного сечения полученной на УНРС (со стороной более 100 мм) или – прокаткой слитка на блюминге (со стороной от 140 до 450 мм).
БЛЮМИНГ	— Обжимной стан, предназначенный для прокатки блюмов (иногда также и слэбов) из слитков.
ВАЛКИ ПРОКАТНЫЕ	— Технологический инструмент прокатного стана, выполняющий основную операцию прокатки – деформацию металла для придания ему требуемых размеров и формы.
ВОЛОКА	— Рабочий инструмент волочильного станка с каналом, продольный профиль которого имеет вид прямолинейного или криволинейного конуса с калибрующим пояском на выходе; формы и размеры пояска обуславливают форму и размеры поперечного сечения изделия.
ВОЛОЧЕНИЕ	— Обработка металлов давлением, состоящая в протягивании – обычно холодном состоянии – изделий круглого или фасонного профиля (гл. обр. прутков, катанки, труб) через отверстие (фильеру), площадь выходного сечения которого

	<p>меньше площади сечения выходного отверстия. В результате волочения поперечные размеры изделия уменьшаются, а длина увеличивается. В. производят на волочильных станках, имеющих несколько фильер для одновременной обработки нескольких заготовок.</p>
ВЫРУБКА	— Разделительная операция обработки металлов давлением, предназначенная для полного отделения детали или полуфабриката от листовой или профильной заготовки по замкнутому контуру.
ВЫСАДКА	— Формоизменяющаяся операция обработки металлов давлением, в результате которой происходит осадка части заготовок.
ВЫТЯЖКА	— 1) Операция холодного штампования, заключающаяся в получении полой детали из плоской заготовки; производится в вытяжных штампах. 2) Кузнечная операция увеличения длины заготовки за счет уменьшения ее поперечного сечения.
ГИБКА	— Формоизменяющаяся операция обработки металлов давлением, предназначенная для образования или изменения углов между частями заготовки, а также для придания заготовке криволинейной формы.
ГИЛЬЗА	— Полая толстостенная заготовка для производства труб, полученная после операции прошивки.
ДОПУСКИ	— Допустимые отклонения числовой характеристики какого-либо параметра от его номинального (расчетного) значения в соответствии с заданным классом точности.
КОВКА	— Способ обработки металлов давлением, при котором заданную форму и размеры изделия получают в результате прерывистого ударного воздействия технологического инструмента на нагретую заготовку.
МАТРИЦА	— Технологический инструмент с одним или несколькими каналами, через которые выдавливаются прессуемые изделия или полуфабрикаты; применяется при прессовании труб и профилей.
НАКЛЕП	— Изменение структуры и свойств металлов и сплавов в результате холодной пластической деформации. Сопровождается повышением твердости и понижением пластичности и ударной вязкости.
ОБЛОЙ	— Заусенец на отливке или поковке. О. вокруг отливки возникает по кромке плоскости разъема формы из-за некоторого раскрытия формы при заливке ее жидким металлом. О. вокруг поковки образуется вследствие выдавливания лишнего металла из открытых штампов (срезается на обрезных прессах).
ОБЪЕМНАЯ ШТАМПОВКА	— Один из основных способов обработки металлов давлением, при котором заготовка пластически деформируется с изменением всех размеров, приобретая форму, соответствующую рабочей полости инструмента.
ОКАЛИНА	— Продукт окисления, образующийся на поверхности стали и

	некоторых других сплавов при нагреве на воздухе или других средах, содержащих кислород.
ОСАДКА	— Формоизменяющая операция обработки металлов давлением, предназначенная для уменьшения высоты заготовки при одновременном увеличении площади поперечного сечения.
ПЕРЕГРЕВ	— Обратимый дефект нагрева стали, заключающийся в формировании крупного зерна; связан с существенным повышением точки A_{C3} (на 100–150 °С) при нагреве, т.е. выше оптимальной температуры конца горячей обработки металлов давлением.
ПЕРЕЖОГ	— Необратимый дефект металла или сплава, заключающийся в окислении или оплавлении границ зерен в результате значительного превышения заданной температуры нагрева (нагрев до температуры близкой к температуре плавления).
ПЛАСТИЧНОСТЬ	– Способность твердых тел под действием внешних сил изменять, не разрушаясь, свою форму и размеры и сохранять остаточные (пластические) деформации после устранения этих сил.
ПОКОВКА	— Металлическое изделие, изготовленное ковкой или штамповкой.
ПРЕССОВАНИЕ	— Процесс выдавливания металла нагретой заготовки из замкнутой полости контейнера через канал матрицы с целью получения сплошных или полых профилей.
ПРОКАТ	— Продукция прокатного производства в виде изделий из черных и цветных металлов и сплавов, полученных методом горячей, теплой или холодной прокатки (листы, ленты, рельсы, балки, трубы и т.д.).
ПРОКАТКА	— Процесс обработки металлов давлением путем обжатия между вращающимися валками с целью уменьшения поперечного сечения прокатываемого слитка, увеличения его длины и придания требуемой формы.
ПРОТЯЖКА	— Формоизменяющая операция обработки металлов давлением, предназначенная для удлинения заготовки или ее части при одновременном уменьшении площади поперечного сечения.
ПРОФИЛЬ	— Форма поперечного сечения изделия, получаемого прокаткой, волочением или прессованием.
ПРОШИВКА	— 1) Операция при ковке и штамповке, осуществляемая для получения глубокой полости или сквозного отверстия в теле поковки путем вдавливания в нее прошивня. 2) Операция удаления внутреннего заусенца, остающегося на штампуемых поковках при пробивке в них сквозных отверстий. 3) Операция в производстве бесшовных труб, осуществляемая на прессах или прошивных станах для получения пустотелых гильз из слитков или заготовок.
ПУАНСОН	— Деталь штампов для горячего и холодного деформирования. При штамповке П. непосредственно давит на заготовку, находящуюся на второй части штампа; при прессовании П. передает давление через пресс-шайбу на заготовку,

выдавливаемую через матрицу.

РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ	— Процесс зарождения и роста новых зерен в деформированном поликристаллическом металле или сплаве, приводящий к повышению структурного совершенства и восстановлению свойств до уровня недеформированного состояния.
СЛЯБ	— Полупродукт металлургического производства, который представляет собой плоскую стальную заготовку прямоугольного сечения, получаемую на установках непрерывной разливки стали или обжатием слитка на слябинге (реже блюминге). Ширина С. от 400 до 2500 мм, высота (толщина) от 75 до 600 мм. С. предназначены для производства листового проката.
СЛЯБИНГ	— Обжимной прокатный стан для переработки крупных стальных слитков в слябы.
СОРТАМЕНТ	— Данные о форме, размерах и материале прокатных изделий.
СОРТОВОЙ ПРОКАТ	— Один из основных видов прокатного производства; катанные изделия (профили) разнообразных (непустотелых) сечений. С. п. делится на простые профили (круг, квадрат, шестиугольник), фасонные профили (рельсы, балки, швеллеры, тавр).
ТЕМПЕРАТУРА РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ	— Минимальная температура, при которой может начаться процесс рекристаллизации в данном сплаве.
УГАР	— Потери металла в результате окисления при плавке или нагреве.
ХОЛОДНАЯ ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ	— Процессы обработки металлов давлением при комнатной температуре, реже с подогревом (ниже температуры рекристаллизации).
ШТАМП	— Инструмент для обработки материалов давлением при пластическом деформировании (штамповании).
ШТАМПОВКА	— Процесс обработки металлов давлением, при котором формообразование металла осуществляется в результате пластического деформирования в полостях штампа при взаимодействии его частей под действием внешних сил.

3.8. Используемые информационные ресурсы.

Технологии в металлургии: <http://www.metalspace.ru>

Большой энциклопедический политехнический словарь (dic.academic.ru)

3.9. Список сокращений

ОМД — обработка металлов давлением

ГОШ — горячая объемная штамповка

Тема 4. Основы сварочного производства.

Аннотация. Данная тема раскрывает основные понятия современного сварочного производства. Предусматривается изучение основных способов сварки, металлургических процессов в сварочной ванне.

Ключевые слова. *Сварка, свариваемость, сварочная ванна, сварной шов, наплавка, флюсы. Припой.*

4.1. Физические основы получения сварного соединения. Классификация способов сварки.

Сварка – технологический процесс получения неразъемных соединений в результате возникновения атомно-молекулярных связей между соединяемыми деталями при их нагреве и пластическом деформировании. Существует множество технологических процессов сварки (более 70).

Сварка является наиболее важным способом получения неразъемных соединений из различных материалов, свариваются металлы и сплавы, керамика, стекло, пластмассы, разнородные материалы. Сварка применяется во всех областях техники. Сварка - технологический процесс получения неразъемных соединений материалов посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого. Сваркой соединяют однородные и разнородные металлы и их сплавы, металлы с некоторыми неметаллическими материалами (керамикой, графитом, стеклом и др.), а также пластмассы. Сварка - экономически выгодный, высокопроизводительный и в значительной степени механизированный технологический процесс, широко применяемый практически во всех отраслях машиностроения. Физическая сущность процесса сварки заключается в образовании прочных связей между атомами и молекулами на соединяемых поверхностях заготовок. Для образования соединений необходимо выполнение следующих условий: освобождение свариваемых поверхностей от загрязнений, оксидов и адсорбированных на них инородных атомов; энергетическая активация поверхностных атомов, облегчающая их взаимодействие друг с другом; сближение свариваемых поверхностей на расстояния, сопоставимым с межатомным расстоянием в свариваемых заготовках.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, все виды сварки разделяют на три класса: термический, термомеханический и механический.

К *термическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые плавлением с использованием тепловой энергии (дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая и др.).

К *термомеханическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием тепловой энергии и давления (контактная, диффузионная и др.).

К *механическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления (ультразвуковая, взрывом, трением, холодная и др.).

4.2. Основные металлургические процессы в сварочной ванне.

Сварной шов при дуговой сварке формируется путем кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны. Кристаллизацией называют процесс образования кристаллов металла из расплава при переходе его из жидкого в твердое состояние. Образующиеся при

этом кристаллы металла принято называть кристаллитами. Сварочная ванна условно может быть разделена на две области: переднюю (головную) и заднюю (хвостовую). В передней части горит дуга и происходит нагревание и расплавление металла, а в хвостовой - охлаждение и кристаллизация расплава. Теплота отводится в основной металл, окружающий сварочную ванну. В общем виде процесс кристаллизации состоит из двух стадий: образования центров кристаллизации (зародышей) и роста кристаллов от этих центров. При первичной кристаллизации металла шва в качестве центров кристаллизации являются поверхности оплавленных зерен основного металла, окружающих сварочную ванну. При этом между основным металлом и металлом шва возникают общие зерна. Условную поверхность раздела между зернами основного металла и кристаллитами шва называют зоной сплавления при сварке. В процессе затвердевания в расплаве могут появляться и новые центры кристаллизации - тугоплавкие частицы примесей, обломки зерен и т.п.

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны носит прерывистый характер. После начала кристаллизации через некоторое время происходит задержка в росте кристаллитов в связи с выделением скрытой теплоты плавления металла. По мере отвода теплоты процесс роста вновь убыстряется до следующей задержки. Так повторяется до полного затвердевания всей ванны. В результате этого сварные швы имеют характерное слоистое строение (рис. 4.1). Толщина кристаллизационных слоев измеряется в пределах от Десятых долей от нескольких миллиметров в зависимости от объема ванны и условий теплоотвода. Столбчатые кристаллиты каждого последующего слоя являются продолжением кристаллитов предыдущего слоя. В итоге образующиеся кристаллиты как бы прорастают из слоя в слой.

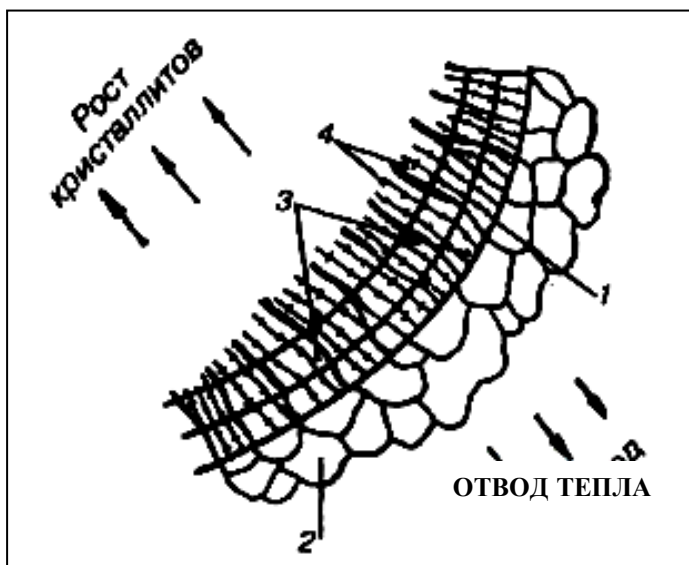


Рис. 4.1. Схема кристаллизации расплава в сварочной ванне: 1 - зона сплавления, 2 - зерна основного металла, 3 - кристаллизационные слои, 4 - растущие кристаллиты

Характер получаемой структуры и расположения кристаллитов в металле шва во многом определяются формой сварочной ванны и схемой ее кристаллизации. Кристаллиты растут перпендикулярно границе сплавления в направлении, противоположном отводу теплоты. При кристаллизации сварочной ванны с узким, глубоким проплавлением кристаллиты растут от противоположных стенок навстречу друг другу. При этом перед фронтом кристаллизации накапливаются различного рода примеси. В результате по оси шва, в месте стыка вершин кристаллитов, растущих с противоположных сторон ванны, образуется область ослабления, в

которой могут располагаться разные включения (рис. 4.2, а). При затвердевании широкой сварочной ванны с небольшим проплавлением схема кристаллизации существенно отличается — кристаллиты соприкасаются не вершинами, а боковыми гранями, а примеси, концентрирующиеся перед фронтом кристаллизации, вытесняются на поверхность шва в виде шлаков. Такие швы более устойчивы против образования трещин (рис. 4.2, б). В процессе кристаллизации состав жидкого металла ванны непрерывно изменяется. Поэтому одновременно с кристаллизацией в нем развиваются диффузионные процессы, стремящиеся к однородному составу металла как внутри кристаллитов, так и между затвердевшими кристаллитами и еще оставшимся жидким расплавом. Однако из-за различия скоростей роста кристаллитов и процессов диффузии, являющихся более медленными, полного выравнивания состава не происходит.



Рис. 4.2. Схема кристаллизации расплава в зависимости от формы сварочной ванны: а - узкая сварочная ванна с глубоким проплавлением, б - широкая сварочная ванна.

Это приводит к возникновению неравномерности в распределении элементов сплава свариваемого шва - химической неоднородности металла шва. Различают макроскопическую и микроскопическую неоднородность. Первый вид характеризуется неравномерностью состава в отдельных областях металла по сечению шва (зональная ликвация). При микроскопической неоднородности наблюдается неравномерность состава металла в пределах отдельных кристаллитов (микроскопическая ликвация). За счет ликвации создается химическая неоднородность металла шва. Преимущественное развитие в сварных швах обычно имеет внутридендритная неоднородность. Интенсивность проявления ликвационных процессов зависит от условий сварки. Чем больше скорость затвердевания металла, тем в меньшей степени проявляется ликвация. Вид и степень химической неоднородности оказывают существенное влияние на свойства металла шва, стойкость его против образования трещин и др.

Сварное соединение (рис.4.3) при сварке плавлением включает в себя сварной шов 1, образовавшийся в результате кристаллизации сварочной ванны, зону сплавления 2 и зону термического влияния 3, представляющую часть основного металла, непосредственно привыкающую к сварному шву и подвергающуюся тепловому воздействию при сварке, вызывающему изменение структуры и свойств.

Металл в любой зоне сварного соединения испытывает нагрев и охлаждение. Изменение температуры металла во времени называют термическим циклом сварки. Максимальная температура нагрева в разных участках соединения различна.



Рис. 4.3. Схема строения сварного соединения: 1 - сварной шов, 2 - зона сплавления, 3 - зона термического влияния

Сварной шов образуется в результате расплавления основного и электродного металлов, а потому после затвердевания он имеет структуру литого металла с вытянутыми столбчатыми кристаллитами. В зоне термического влияния изменение нагрева происходит от температуры плавления на границе со швом до комнатной температуры. При этом в металле могут происходить различные структурные и фазовые превращения, приводящие к появлению участков металла, различающихся по структуре.

При сварке низкоуглеродистых сталей в ней отмечают участки (рис. 4.4) неполного расплавления, перегрева, нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости.

Участок неполного расплавления примыкает непосредственно к сварному шву и является переходным от литого металла шва к основному. На этом участке происходит образование соединения и проходит граница сплавления. Он представляет собой узкую область (0,1 - 0,4 мм) основного металла, нагревавшегося до частичного оплавления зерен.

Участок перегрева область основного металла, нагреваемого до температур 1100 - 1450°C, в связи с чем металл его отличается крупнозернистой структурой и пониженными механическими свойствами и тем заметнее, чем крупнее зерно и шире зона перегрева.

Участок нормализации (перекристаллизации) охватывает область основного металла, нагреваемого до температуры 900 - 1100°C. Металл этого участка обладает высокими механическими свойствами, так как при нагреве и охлаждении на этом участке образуется мелкозернистая структура в результате перекристаллизации без перегрева.

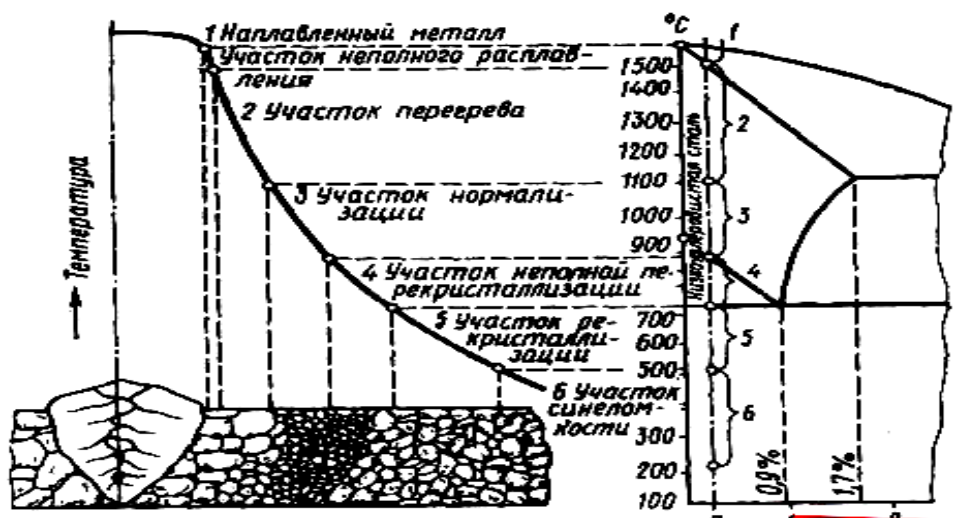


Рис. 4.4. Структура металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

Участок неполной перекристаллизации нагревается в пределах температур 725 - 900°C. В связи с неполной перекристаллизацией, вызванной недостаточным временем и температурой нагрева, структура металла состоит из смеси мелких перекристаллизовавшихся зерен и крупных зерен, которые не успели перекристаллизоваться. Свойства его более низкие, чем у металла предыдущего участка.

Участок рекристаллизации наблюдается при сварке сталей, подвергавшихся холодной деформации (прокатке, ковке, штамповке). При нагреве до температуры 450 - 725°C в этой области основного металла развивается процесс рекристаллизации, приводящий к росту зерна, огрублению структуры, к разупрочнению металла.

Участок, нагреваемый в области температур 200 - 450°C, является переходным от зоны термического влияния к основному металлу. В этой области могут протекать процессы

старения металла в связи с выпадением карбидов и нитридов железа. Понижается пластичность и вязкость металла. По структуре этот участок практически не отличается от основного металла.



Таким образом, сварное соединение характеризуется неоднородностью свойств.

Ширина околошовной зоны зависит от толщины металла, вида и режима сварки. Например, при ручной дуговой сварке она составляет обычно 5 - 6 мм.

При *механических методах* сварки необходимо приложить давление, под влиянием которого в месте сварки возникают значительные упруго-пластические деформации, вызывающие разрушение оксидной пленки, смятие микронеровностей, обеспечение физического контакта и образование между атомами прочных связей, соответствующих связям при расстоянии между ними, равном параметру кристаллической решетки.

При *термомеханических методах* сварки металл в месте соединения деталей нагревается от внешних источников теплоты до температуры плавления или пластического состояния. Нагревание позволяет снизить удельное давление, уменьшить величину минимальной относительной деформации, необходимой для сварки.



Металлургические процессы при сварке отличаются следующими особенностями: малым объемом расплавленного металла сварного шва, высокой температурой зоны сварки, непродолжительным нахождением металла в расплавленном состоянии, активным взаимодействием расплавленного металла с окружающей средой, быстрым отводом теплоты от расплавленного металла сварочной ванны в прилегающей к ней зоны твердого основного металла.

Высокая температура при сварке ускоряет процессы плавления электродного и основного металла, а также электродного покрытия и флюса. При этом происходят выделение газов и испарение, разбрызгивание и окисление веществ, участвующих в химических реакциях в зоне сварки. Металл теряет некоторые полезные примеси, насыщается газами и окислами. В процессе сварки происходит окисление металла за счет кислорода атмосферы, двуокиси углерода, паров воды, высших окислов. Окислы и газы, остающиеся в сварном шве, резко ухудшают его механические свойства. При сварке окислы частично переходят в шлак, взаимодействуя с раскислителями, которые вводятся в сварочную ванну через обмазку электродов, флюс и присадочный металл. Через них же осуществляется легирование металла шва никелем, хромом, вольфрамом и другими элементами для улучшения его механических свойств. Все эти процессы приходится учитывать при получении шва необходимой прочности.

4.3. Понятие свариваемости. Технология сварки сталей и чугуна, цветных металлов.

Материал в процессе его сварки так или иначе изменяет свои свойства. Эти изменения зависят как от самого материала, его физико-химических свойств, так и от метода и режимов сварки. Причем следует учитывать, что степень воздействия на материал сопутствующих сварке явлений может быть весьма значительной. Поэтому без учета анализа свариваемости того или иного материала, условий, при которых происходит сам процесс сварки, особенностей конструкции сварного изделия или узла конструктор не может выбрать материал для изготовления изделия и рационально проектировать его.

Свариваемость — сложное, комплексное свойство материалов. Его нельзя определить

каким-либо одним испытанием, одной методикой. Оценка свариваемости непосредственно связана с характеристикой материала, условиями его эксплуатации. Однако некоторые критерии оценки свариваемости являются достаточно общими для широкого круга металлов и сплавов. Рассмотрим основные из них.

Изменение химического состава и распределение элементов в сварном соединении. Металл при сварке может достаточно сильно нагреваться, а при термических методах происходит его плавление на небольшом локальном участке. В таких условиях химический состав металла изменяется. Степень изменений зависит от химической активности самого металла, состава окружающей температуры, качества подготовки поверхности металла под сварку, диффузионных процессов в сварочной ванне. Влияние сварочного нагрева на структуру и механические свойства основного металла. Наиболее заметные изменения структуры и свойств наблюдаются в металлах, имеющих полиморфные превращения. Последние могут протекать с изменением или без изменения объема. Стали перлитного и мартенситного классов, например, относятся к сплавам, обладающим ярко выраженными свойствами полиморфизма с изменением объема структуры в пределах 3—5%. Титановые сплавы претерпевают полиморфные превращения, сопровождающиеся незначительным изменением объема (0,15%); не имеют подобных превращений тугоплавкие металлы и некоторые сплавы цветных металлов. Вне зависимости от наличия и характера полиморфных превращений различают в сварном соединении три основные области: первая — металл нагрет до температуры выше линии солидуса; вторая — металл нагрет до температур, достаточных для протекания фазовых превращений или процессов рекристаллизации; третья — с температурой ниже температуры протекания этих процессов. Свариваемость металлов и сплавов характеризуется их способностью образовывать при сварке качественное соединение без трещин, пор и других дефектов. Не все металлы хорошо свариваются дуговой, газовой и другими обычными методами сварки в воздушной среде. Для соединения плохо свариваемых металлов применяют более сложную технологию подготовки к сварке (например, предварительный подогрев свариваемых заготовок), специальные виды сварки (например, сварка в вакууме). После сварки некоторых металлов и сплавов проводят термическую обработку сварного шва и околошовной зоны или обработку давлением. Хорошо свариваются методом плавления металлы с одинаковой атомной решеткой, образующие друг с другом твердые растворы.

Некоторые металлы с разными атомными решетками (например, медь и свинец) совершенно не свариваются. Свариваемость сталей зависит от содержания в них углерода и легирующих элементов. Чем меньше углерода, тем лучше свариваемость.

Конструкционные стали по химическому составу подразделяют на углеродистые (обыкновенного качества и качественные) и легированные (низко-, средне- и высоколегированные). Углеродистые стали. Кроме углерода в сталях содержатся примеси: марганец, кремний, сера, фосфор, кислород, азот, водород. Если два первых относятся к полезным, то все остальные ухудшают свариваемость и их количество в сталях стремятся уменьшить. Именно меньшим содержанием примесей и более узким допуском по содержанию углерода в пределах конкретной марки стали качественная углеродистая сталь отличается от обыкновенной.

Низкоуглеродистые стали (Ст3, стали 10, 15, 20 и др.) обладают хорошей свариваемостью. Исключением является сварка деталей больших толщин при пониженных температурах. Увеличение содержания углерода в среднеуглеродистых сталях способствует не только появлению закалочных структур, но и усилению ликвации серы в шве и обогащению ею межкристаллических прослоек, что может привести к образованию горячих трещин. Поэтому среднеуглеродистые стали относятся к сталям с ограниченной

свариваемостью. Стали, содержащие углерода более 0,7%, характеризуются плохой свариваемостью. Легированные стали (кроме никелевых) свариваются хуже, чем углеродистые. Чугуны отличаются плохой свариваемостью обычными методами дуговой и газовой сварки.

При сваривании алюминия и магния образуется оксидная пленка, препятствующая образованию монолита. Сварку алюминия и магния проводят в среде инертных газов или плавящимся электродом. В первом случае – оксидная пленка не образуется, во втором случае она разрушается под действием дуги.

4.4. Виды сварки.

Дуговая сварка Источником теплоты является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. Сварочной дугой называется мощный электрический разряд между электродами, находящимися в среде ионизированных газов и паров.

В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие разновидности дуговой сварки (рис. 4.5):

- сварка неплавящимся (графитовым или вольфрамовым) электродом 1 дугой прямого действия 2 (рис. 4.5.а), при которой соединение выполняется путем расплавления только основного металла 3, либо с применением присадочного металла 4;
- сварка плавящимся электродом (металлическим) 1 дугой прямого действия с одновременным расплавлением основного металла и электрода, который пополняет сварочную ванну жидким металлом (рис. 4.5.б);
- сварка косвенной дугой 5, горящей между двумя, как правило, неплавящимися электродами, при этом основной металл нагревается и расплавляется теплотой столба дуги (рис. 4.5.в);
- сварка трехфазной дугой, при которой дуга горит между каждым электродом и основным металлом (рис. 4.5.г).

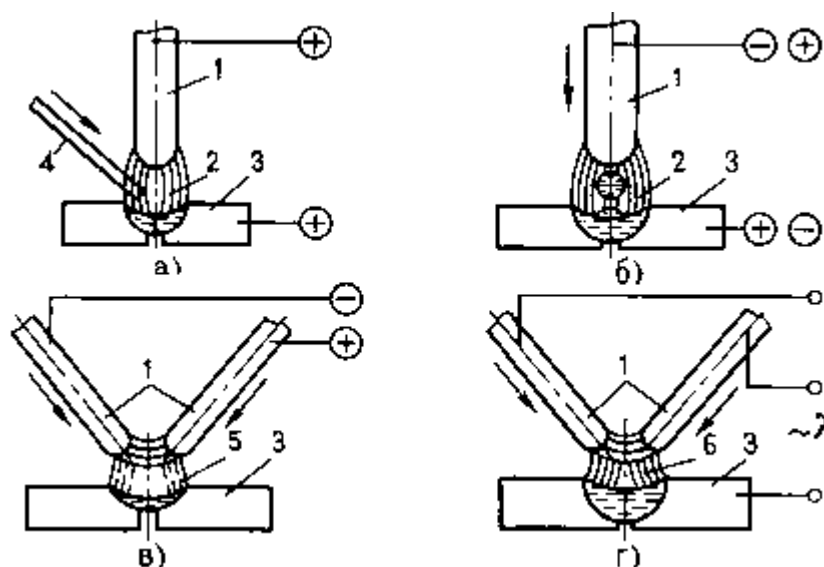


Рис. 4.5. Схемы дуговой сварки

Разновидности дуговой сварки различают по способу защиты дуги и расплавленного металла и степени механизации процесса.

Ручная дуговая сварка. Ручную дуговую сварку выполняют сварочными электродами, которые подают вручную в дугу и перемещают вдоль заготовки. В процессе сварки металлическим покрытым электродом (рис.4.6) дуга 8 горит между стержнем 7 электрода и основным металлом 1. Стержень электрода плавится, и расплавленный металл каплями стекает в сварочную ванну 9. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 6, образуя защитную газовую атмосферу 5 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну 4 на поверхности расплавленного металла. По мере движения дуги сварочная ванна затвердевает и формируется сварной шов 3. Жидкий шлак образует твердую шлаковую корку 2.

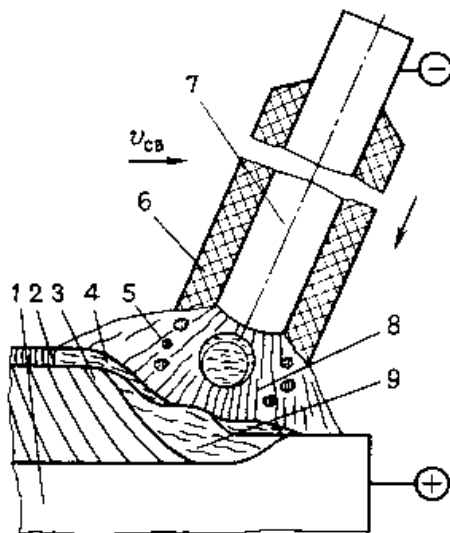


Рис. 4.6. Схема процесса сварки металлическим покрытым электродом

Ручная сварка позволяет выполнять швы в любых пространственных положениях: нижнем, вертикальном, горизонтальном, вертикальном, потолочном. Ручная сварка удобна при выполнении коротких криволинейных швов в любых пространственных положениях, при выполнении швов в труднодоступных местах, а также при монтажных работах и сборке конструкций сложной формы. Оборудование для ручной сварки: источник питания дуги, электрододержатель, гибкие провода, защитная маска или щиток.

Флюсы для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей предназначены для раскисления шва и легирования его марганцем и кремнием. Для этого применяют высококремнистые марганцевые флюсы, которые получают путем сплавления марганцевой руды, кремнезема и плавикового шпата в электропечах. Флюсы для сварки легированных и высоколегированных сталей должны обеспечивать минимальное окисление легирующих элементов в шве. Для этого применяют керамические низкокремнистые, безкремнистые и фторидные флюсы, которые изготавливают из порошкообразных компонентов путем замеса их на жидком стекле, гранулирования и последующего прокаливания. Основу керамических флюсов составляют мрамор, плавиковый шпат и хлориды щелочно-земельных металлов.

При сварке в защитном газе электрод, зона дуги и сварочная ванна защищены струей защитного газа (инертного – аргон, гелий; активного – углекислый газ, азот, водород). Сварку в инертных газах можно выполнять неплавящимся и плавящимся электродами. В качестве неплавящегося электрода применяется прутки вольфрама, а в качестве плавящегося – проволока из основного металла или близкого ему по химическому составу. Область применения аргонодуговой сварки охватывает широкий круг материалов и изделий (узлы летательных аппаратов, элементы атомных установок, корпуса и трубопроводы химических аппаратов). Аргонодуговую сварку применяют для легированных и высоколегированных

сталей, цветных (алюминия, магния, меди) и тугоплавких (титана, ниобия, ванадия, циркония) металлов и их сплавов.

Сварка в углекислом газе выполняется только плавящимся электродом. Защита сварочной ванны осуществляется углекислым газом. Углекислый газ химически активен по отношению к жидкому металлу. При нагреве он диссоциирует на оксид углерода и кислород, который окисляет железо и легирующие элементы. Окисляющее действие кислорода нейтрализуется введением в проволоку дополнительного количества раскислителей. Для сварки углеродистых и низколегированных сталей применяют сварочную проволоку с повышенным содержанием кремния и марганца. Хорошее качество сварного шва получается при использовании специальной порошковой проволоки.

Обычно свариваются конструкции из углеродистых и низколегированных сталей (газо- и нефтепроводы, корпуса судов и т.п.). При сварке меди, алюминия, титана и редких металлов невозможно связать свободный кислород введением раскислителей. Преимуществами данного способа являются низкая стоимость углекислого газа и высокая производительность. Основной недостаток – разбрызгивание металла (на зачистку расходуется 30...40% времени сварки).

Газовая сварка При газовой сварке заготовки 1 и присадочный материал 2 в виде прутка или проволоки расплавляют высокотемпературным пламенем 4 газовой горелки 3 (рис. 4.7).

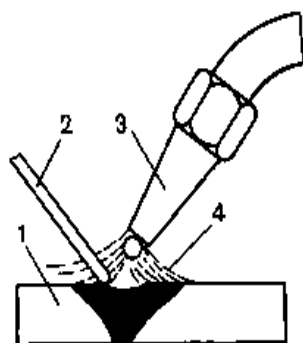


Рис. 4.7. Схема газовой сварки

Газовое пламя получают при сгорании горючего газа в атмосфере технически чистого кислорода. Мощность пламени регулируют сменой наконечников горелки. Нагрев заготовки осуществляется более плавно, чем при дуговой сварке, поэтому газовую сварку применяют для сварки металла малой толщины (0,2...3 мм), легкоплавких цветных металлов и сплавов; металлов и сплавов, требующих постепенного нагрева и охлаждения (инструментальные стали, латуни); для подварки дефектов в чугунных и бронзовых отливках. При увеличении толщины металла снижается производительность и увеличивается деформация.

Основными преимуществами сварных соединений являются: экономия металла; снижение трудоемкости изготовления корпусных деталей; возможность изготовления конструкций сложной формы из отдельных деталей, полученных ковкой, прокаткой, штамповкой.

Сварным конструкциям присущи и некоторые недостатки: появление остаточных напряжений; коробление в процессе сварки; плохое восприятие знакопеременных напряжений, особенно вибраций; сложность и трудоемкость контроля. Тип сварного соединения определяют взаимным расположением свариваемых элементов и формой подготовки (разделки) их кромок под сварку. В зависимости расположения соединяемых

деталей различают четыре основных типа сварных соединений: стыковые, нахлесточные, угловые и тавровые (рис. 4.8).

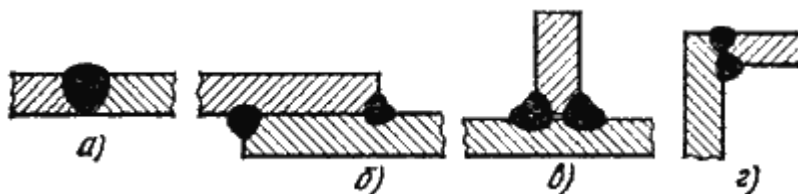


Рис.4.8. Основные типы сварных соединений
а – стыковое; б – нахлесточное; в – тавровое; г – угловое

Кромки разделяют в целях полного провара заготовок по сечению, что является одним из условий равнопрочности сварного соединения с основным металлом, различают V, К, Х – образные

Сварной шов — участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны. По расположению в пространстве сварные швы бывают: нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные (рис. 4.9,а). Нижним называют шов, расположенный на горизонтальной плоскости заготовок или на плоскости, наклонной к горизонту под углом до 45° . Вертикальными называют швы, расположенные на вертикальной плоскости вертикально или под углом более 45° к горизонту. Горизонтальными называют швы, расположенные на вертикальной плоскости горизонтально или под углом менее 45° к горизонту. Потолочными называют швы, расположенные на «потолке» заготовок. Сварку рекомендуется по возможности выполнять в нижнем положении. Наиболее трудным является потолочный шов.

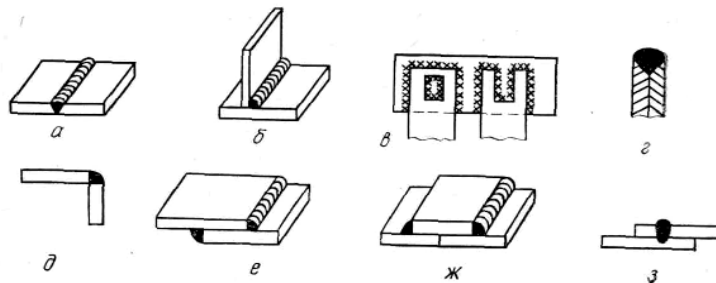


Рис.4.9. Виды сварных швов

4.5. Специальные термические процессы в сварочном производстве

Кислородная резка основана на нагреве металла в зоне реза кислородно-ацетиленовым пламенем (вместо ацетилена может использоваться и другое горючее, например пропан) до температуры его воспламенения. За счет экзотермической реакции окисления металла участок реза дополнительно нагревается и расплавляется, а оксиды удаляются кинетической струей режущего кислорода. Горелка для резки имеет два канала: кольцевой для подачи смеси $C_2H_2 + C_2H_4$ и формирования подогревавшего пламени и центральный для подачи в него чистого кислорода, струя которого и удаляет оксиды из полости реза. Чем больше толщина разрезаемого металла, тем меньшая роль в тепловом балансе принадлежит подогревающему пламени. Основная часть тепловой энергии поступает от реакции окисления металла.

Существует несколько обязательных условий протекания нормального процесса резки.

1. Источник теплоты должен обеспечить требуемую температуру для начала реакции сгорания металла, так же как и теплота, выделяемая при сгорании, должна быть достаточной, чтобы поддерживать непрерывный процесс резки.
2. Температура плавления металла не может быть ниже температуры его горения в кислороде.
3. Температура плавления оксидов, образующихся в процессе резки, не должна быть выше температуры плавления разрезаемого металла.
4. Оксиды и шлаки должны иметь хорошую текучесть, чтобы свободно удаляться из полости реза.

Наплавка — это процесс нанесения слоя металла или сплава на поверхность изделия. Она позволяет получать детали с поверхностью, отличающейся от основного металла, например жаропрочностью и жаростойкостью, высокой износостойкостью при нормальных и повышенных температурах, коррозионностойкостью и т. п. Наплавка может производиться как при изготовлении новых деталей, так и (особенно широко) в ремонтно-восстановительных работах, существенно удлиняя срок эксплуатации деталей и узлов, обеспечивая этим высокий экономический эффект.

Существуют разнообразные способы наплавки. Основные из них следующие.

1. Ручная дуговая электродами со стержнями и покрытиями специальных составов.
2. Автоматическая наплавка под флюсом. Электроды могут быть сплошного сечения и порошковые. Состав флюса, металл электрода и состав наполнителя (для порошковой проволоки) определяют свойства наплавленного слоя.
3. Наплавка плавящимся и неплавящимся электродами в среде защитных газов, прежде всего аргона. Свойства наплавленного слоя здесь зависят от материала присадки (при наплавке неплавящимся, например вольфрамовым, электродом) или электрода (при наплавке плавящимся электродом).
4. Плазменная наплавка. Дуга может быть как прямого, так и косвенного действия. Наплавляемый материал подают в виде проволоки, порошка. Можно плазменной струей оплавливать слой легированного порошка, предварительно нанесенный на поверхность детали.
5. Электрошлаковая наплавка. Схема такого процесса наплавки аналогична схеме электрошлаковой сварки, однако формирование шва осуществляют по заданной поверхности плоской или цилиндрической детали.
6. Электронно-лучевая и лазерная наплавка, наплавка полым электродом в вакууме. Эти методы наплавки используют особые свойства источников теплоты — высокую концентрацию тепловой энергии, возможность локального нагрева в условиях качественной защиты металла (электронно-лучевая наплавка и наплавка полым катодом в вакууме).
7. Наплавка газокислородным пламенем. Как и при сварке, процесс наплавки этим методом характеризуется большой зоной влияния и деформациями.

Напыление — расплавленные по всему объему или по поверхности частицы материала будущего покрытия направляются на поверхность нагретой заготовки. При соударении с поверхностью частица деформируется, обеспечивая хороший физический контакт с деталью. Характер взаимодействия частицы с материалом подложки (детали), последующая кристаллизация частиц определяют качество адгезии покрытия с подложкой. Последующие слои формируются уже за счет связей частиц друг с другом, имеют чешуйчатое строение и существенно неоднородны. По мере повышения стоимости объемного легирования и

стремления получить требуемые эксплуатационные свойства более экономичным способом (легированием поверхности) напыление становится все более предпочтительным.

Для напыления используют источники тепла: газовое пламя, плазму, ионный нагрев, нагрев в печах, лазер и др.

4.6. Контроль качества сварных соединений

При дуговой сварке нагрев происходит при помощи электрической дуги – длительный и устойчивый электрический разряд между двумя электродами в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Явление электрической дуги открыл В. В. Петров в 1802 г. Русский инженер Н. Н. Бенардос в 1882 г. первым в мире применил электрическую дугу для сварки металлов угольным электродом на постоянном токе. В 1888 г. русским инженером Н. Г. Славяновым был разработан способ дуговой сварки металлическим электродом, который в настоящее время является самым распространенным в технике. Этим способом можно сваривать постоянным и переменным током. В 1940 г. советский ученый Е. О. Патон разработал автоматическую сварку металлов под слоем флюса. Наша страна является родиной многих других открытий в области сварочного производства. Преимущественное применение имеет сварка переменным током. Это связано с тем, что стоимость электросварочного оборудования и расход электроэнергии для переменного тока значительно ниже, чем для постоянного.

Дефекты сварных соединений бывают наружными и внутренними. К наружным при дуговой и газовой сварке относятся: неравномерность поперечного сечения по длине шва, незаплавленные кратеры, подрезы основного металла, прожог, наружные трещины, коробление и др.; к внутренним — непровар, внутренние поры и трещины, шлаковые включения, пережог и др. Дефекты в сварных соединениях образуются по разным причинам. При дуговой и газовой сварке сечение швов будет неравномерным, если нарушен режим сварки. Сущность подреза состоит в том, что края основного металла тоньше, чем шов. Причиной подрезов и прожогов в большинстве случаев является большой ток или большая мощность сварочной горелки. Трещины образуются при сварке сталей с повышенным содержанием углерода или легирующих элементов, завышенном содержании серы или фосфора в металле шва. Непровар — дефект в виде местного несплавления основного металла и сварочного шва. Причиной непровара могут быть малая величина тока или недостаточная мощность горелки, плохая зачистка кромок основного металла и др. Пережог происходит при окислении металла во время сварки, когда зерна металла покрываются пленкой окислов, отчего уменьшается сцепление частиц металла между собой. Причины пережога — избыток кислорода при газовой или слишком длинная дуга при дуговой сварке. При выполнении сварочных работ применяют различные методы контроля сварных соединений: внешний осмотр швов, металлографические исследования, просвечивание рентгеновыми и гамма-лучами, магнитный контроль, механические испытания, контроль швов на плотность и др.

Контроль перед сваркой заключается в проверке качества основного металла, электродов, проволоки, флюсов, обмазки; в проверке правильности подготовки кромок, зазора между ними и т. п.

В процессе сварки контролируют силу тока и дефекты, обнаруживаемые внешним осмотром. Внешним осмотром выявляют поверхностные дефекты сварки: неравномерность шва, подрезы, прожоги металла, пористость, трещины и др. Для выявления плохо видимых дефектов пользуются лупой, а для замеров — измерительными инструментами и шаблонами. Металлографические исследования макро- и микроструктуры могут быть проведены на

образцах, вырезанных из сварного соединения. Макроанализ позволяет обнаружить такие дефекты, как шлаковые включения, раковины, поры, трещины и др. Микроанализ дает представление о структуре шва, об изменениях состава металла, пережоге, о наличии микроскопических дефектов шва.

Просвечивание рентгеновыми и гамма-лучами заключается в том, что данные лучи, встречая на своем пути дефекты шва (поры, трещины, шлаковые включения и др.), поглощаются здесь меньше, поэтому сильнее действуют на фотопленку, чем при прохождении плотных здоровых мест шва, вызывая на снимках почернения, форма которых на рентгенограмме соответствует форме дефекта.

Механические испытания проводят на растяжение, изгиб, удар на образцах, вырезанных из сварного соединения.

Контроль швов на плотность применяют для резервуаров, труб и т. п. Он может осуществляться: водой, подаваемой внутрь изделия при определенном давлении; сжатым воздухом, накачиваемым в изделие, погруженное в воду; керосином (шов снаружи покрывают мелом, разведенным в воде, а изнутри его промазывают керосином); аммиаком (о наличии дефектов судят по чернению бумаги, пропитанной раствором азотнокислой ртути и наклеенной на шов изделия, в которое вместе со сжатым воздухом подают аммиак).

Техника безопасности при дуговой сварке и резке.

Электрическая дуга излучает видимые (световые) и невидимые (ультрафиолетовые и инфракрасные) лучи, которые, вредно действуют на глаза и кожу, вызывая раздражение и ожоги. Для защиты глаз сварщика служат щитки и маски со светофильтрами. Сварщик должен работать в спецодежде. Места сварки и резки ограждаются светонепроницаемыми щитами, кабинами или ширмами из брезента или фанеры высотой до 1,8 м. Это защищает людей, работающих рядом со сварщиком, от действия лучей электрической дуги. Для улучшения вентиляции кабины ее стенки не доводят до пола на 0,3 м. Для предупреждения от поражения током все провода и токоведущие части сварочных установок должны иметь хорошую изоляцию, а корпуса сварочной аппаратуры и сварочные столы должны быть надежно заземлены. Включающие и выключающие устройства защищают кожухами. Постоянные кабины для дуговой сварки и резки должны быть оборудованы надежной приточно-вытяжной вентиляцией.

4.7. Пайка

Пайка – процесс получения неразъемного соединения заготовок без их расплавления путем смачивания поверхностей жидким припоем с последующей его кристаллизацией. Расплавленный припой затекает в специально создаваемые зазоры между деталями и диффундирует в металл этих деталей. Протекает процесс взаимного растворения металла деталей и припоя, в результате чего образуется сплав, более прочный, чем припой. Образование соединения без расплавления основного металла обеспечивает возможность распая соединения.

Качество паяных соединений (прочность, герметичность, надежность и др.) зависят от правильного выбора основного металла, припоя, флюса, способа нагрева, типа соединения. В зависимости от способа нагрева различают пайку газовую, погружением (в металлическую или соляную ванну), электрическую (дуговая, индукционная, контактная), ультразвуковую. В единичном и мелкосерийном производстве применяют пайку с местным нагревом посредством паяльника или газовой горелки.

В крупносерийном и массовом производстве применяют нагрев в ваннах и газовых печах, электронагрев, импульсные паяльники, индукционный нагрев, нагрев токами высокой частоты.

Перспективным направлением развития технологии пайки металлических и неметаллических материалов является использование ультразвука. Генератор ультразвуковой частоты и паяльник с ультразвуковым магнитострикционным вибратором применяются для безфлюсовой пайки на воздухе и пайке алюминия. Оксидная пленка разрушается за счет колебаний ультразвуковой частоты.

Процесс пайки включает: подготовку сопрягаемых поверхностей деталей под пайку, сборку, нанесение флюса и припоя, нагрев места спая, промывку и зачистку шва. Детали для пайки тщательно подготавливаются: их зачищают, промывают, обезжиривают. Зазор между сопрягаемыми поверхностями обеспечивает диффузионный обмен припоя с металлом детали и прочность соединения. Зазор должен быть одинаков по всему сечению. Припой должен быть зафиксирован относительно места спая. Припой закладывают в месте спая в виде фольговых прокладок, проволоочных контуров, лент, дроби, паст вместе с флюсом или наносят в расплавленном виде. При автоматизированной пайке – в виде пасты с помощью шприц-установок. При возможности предусматриваются средства механизации – полуавтоматы и автоматы для газовой, электрической пайки.

Свойство материалов образовывать паяное соединение при заданном режиме пайки называется *паяемостью*.

Процесс пайки металлов имеет много общего с процессом сварки плавлением.



Однако пайка отличается от сварки следующими характерными особенностями.

- 1) пайка производится при температуре ниже температуры плавления обоих или хотя бы одного из соединяемых металлов.
- 2) В процессе пайки между соединяемыми деталями в определенный момент находится жидкая металлическая прослойка припоя.
- 3) В отличие от сварки плавлением паяное соединение образуется не в результате непосредственного взаимодействия металлов соединяемых деталей, а вследствие взаимодействия припоя и основного металла.
- 4) Обязательным условием пайки являются смачивание паяемых поверхностей припоем, диффузия компонентов припоя в сторону основного металла и компонентов основного металла в сторону припоя и последующая кристаллизация жидкой прослойки.
- 5) Пайкой можно изготавливать сложные по конфигурации узлы и целые конструкции, состоящие из нескольких деталей, за один производственный цикл (нагрев), что позволяет рассматривать пайку (в отличие от сварки) как групповой метод соединения материалов.

Паяние — процесс соединения металлов в твердом состоянии посредством расплавленного сплава (припоя), температура плавления которого ниже температуры плавления соединяемых металлов. Припой, смачивая поверхности деталей, за счет возникающей межатомной связи и диффузии соединяет их после охлаждения и затвердевания.

Качество, прочность и эксплуатационная надежность паяного соединения в первую очередь зависят от правильного выбора припоя. Припои должны обладать следующими свойствами: иметь температуру плавления ниже температуры плавления спаиваемых материалов; в расплавленном состоянии хорошо смачивать паяемый материал и легко растекаться по его поверхности, обеспечивать достаточно высокие сцепляемость, прочность, пластичность и герметичность паяного соединения.

Припои подразделяются на твердые (тугоплавкие и высокопрочные - температура плавления выше 500 °С) и мягкие (легкоплавкие, обладающие меньшей прочностью, температура плавления ниже 500°С).

Легкоплавкие (мягкие) припои широко применяются в отраслях промышленности и в быту, чаще всего припои оловянно-свинцовые ПОС-90, ПОС-50, ПОС-40, ПОС-30, ПОС-18 (число указывает содержание олова, а остальное — свинец), обладающие рядом преимуществ по сравнению с другими. ПОС-90 применяют для пайки электроаппаратуры, ПОС-30 — для пайки кабельных оболочек, ПОС-18 — для пайки автотракторных радиаторов. Припои оловянно-цинковые ПОЦ-90, ПОЦ-70, ПОЦ-60, ПОЦ-40 (39...40% Sn, 60...61% Zn) — по сравнению с оловянно-свинцовыми более прочные, но менее пластичные — применяются реже, в основном для пайки бронз и латуни.

Тугоплавкие (твердые) припои представляют собой тугоплавкие металлы и сплавы, применяют их для получения соединений, прочных при (высоких температурах, стойких против усталости и коррозии. Припои медноцинковые ПМЦ-36, АМЦ-48, ПМЦ-54 (52...56% Си, 43...47% Zn), температура плавления которых 700...950° а также латуни марок Л62 и Л68 (температура плавления 905° и 938 °С), обладающие большей пластичностью и высокой прочностью по сравнению с медно-цинковыми припоями, используют для пайки стальных, медных и чугунных изделий. Серебряные припои ПСр-10, ПСр-70 (69.5...70.5 % Ag, 25,5...26,5 - Си, 3...5 % Zn) в зависимости от химического состава имеют различную температуру плавления от 650° до 870°С, обеспечивают прочное соединение, хорошую электропроводность, а также коррозионную стойкость паяного шва и применяются; для паяния черных и цветных металлов и сплавов, за исключением алюминия, цинка, магния и их сплавов. Алюминиевые припои АС2 (силумин), 34А (66% Al, 28 — Cu, 6% Si) в основном состоят из алюминия с примесью некоторых других металлов, добавляемых для снижения температуры плавления припоя.

Припои выпускают в виде чушек, проволоки, литых прутков, зерен, лент фольги, трубок, заполненных флюсом (канифолью), а также в виде порошков и паст из порошка с флюсом.

Для очистки и предохранения поверхности от окислов, улучшения смачиваемости и растекания припоев применяют различные флюсы. При паянии мягкими припоями, флюсами служат хлористый цинк, нашатырь, канифоль, пасты; медно-цинковыми припоями - бура, борная кислота; серебряными - фтористый натрий. Нагревать места соединения и расплавлять припой можно паяльником, паяльными лампами, газовыми горелками. Наконечники паяльников изготавливают из меди, обладающей высокой теплопроводностью. Перед паянием поверхности металлов очищают металлической щеткой и напильником, затем нагревают до температуры плавления припоя и при помощи флюса удаляют с поверхности окислы, после чего вводят припой. После охлаждения спаянных деталей обрабатывают полученный шов.

Паяние алюминия и его сплавов является весьма трудной операцией в связи с тем, что на воздухе (особенно при нагреве) на их поверхности образуется тугоплавкая пленка окислов. Перед паянием алюминия поверхности сначала обезжиривают бензином или спиртом.

Условие безопасности работы. Перед началом работы необходимо надеть спецодежду, застегнуть все пуговицы и проверить, чтобы не было развевающихся концов, а волосы убрать под головной убор. Необходимо правильно организовать рабочее место и проверить исправность приспособлений и инструмента. Необходимо обеспечить достаточную освещенность. При пайке, лужении и работе с кислотами следует пользоваться перчатками и защитными очками. Нельзя допускать загрязнения одежды керосином, бензином и маслом.

4.8. Вопросы самопроверки.

- 1) Какие основные условия необходимо выполнить для получения сварного соединения?
- 2) Как выбирают режим ручной дуговой сварки?
- 3) Какова свариваемость углеродистых и легированных сталей?
- 4) Какие виды сварки применяют для чугуна?
- 5) Назовите основные способы пайки.
- 6) Какие типы дефектов могут образоваться при сварке и пайке?
- 7) По каким критериям выбирают способ и вид сварки?
- 8) Какие детали свариваются точечной сваркой?
- 9) Сущность роликовой (шовной) контактной сварки.
- 10) Основные параметры режима газовой сварки.
- 11) Давление кислорода и ацетилена в баллонах и перед горелками.
- 12) Основные способы газовой сварки и их характеристика.

4.9. Глоссарий по теме 4

АЦЕТИЛЕНОВЫЙ ГЕНЕРАТОР	— Аппарат для получения ацетилена при разложении карбида кальция водой.
ГОРЕЛКА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ	— Устройство, применяемое при газовой сварке для регулируемого смешения газов и создания направленного сварочного пламени.
ЗОНА	
3. околошовная	— Участок металла вблизи сварного шва, нагреваемый в процессе сварки.
3. оплавления	— Зона частичного расплавления на границе основного металла и металла сварного шва.
3. термического влияния	— Участок основного металла, не подвергнувшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева и охлаждения при сварке плавлением или резки.
МУНДШТУК	— Устройство для направления плавящегося электрода в зону сварки и для подвода к нему тока.
НАПЛАВКА	— Нанесение с помощью сварки слоя металла на поверхность изделия.
ОСАДКА	— Процесс местной пластической деформации свариваемых частей при сварке.
ПОЛЯРНОСТЬ ОБРАТНАЯ	— Полярность, при которой электрод присоединяется к положительному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к отрицательному.
ПОЛЯРНОСТЬ ПРЯМАЯ	— Полярность, при которой электрод присоединяется к отрицательному полюсу источника питания дуги, а объект сварки – к положительному.
ПРОВОЛОКА	— Проволока, используемая как присадочный металл при сварке плавлением.
СВАРОЧНАЯ СВАРИВАЕМОСТЬ	— Свойство металла или сочетания металлов образовывать

	при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.
СВАРКА	— Процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном, или общем нагреве или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.
С. в углекислом газе	— Дуговая сварка в защитном газе, при которой в зону дуги подается углекислый газ.
С. газовая	— Сварка плавлением, при которой нагрев и расплавление соединяемых частей производится пламенем газов, сжигаемых на выходе горелки.
С. дуговая	— Сварка плавлением, при которой нагрев осуществляется электрической дугой.
С. давлением	— Сварка, осуществляемая при температурах ниже точки плавления свариваемых металлов без использования припоев и с приложением давления, достаточного для создания необходимой пластической деформации.
С. дуговая автоматическая	— Дуговая сварка, при которой подача плавящегося электрода и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок механизированы.
С. дуговая в защитном газе	— Дуговая сварка, при которой в зону дуги подается защитный газ (водород, углекислый газ, азот, аргон, гелий) с целью защиты дуги и сварочной ванны от атмосферного воздуха.
С. дуговая неплавящимся электродом	— Дуговая сварка, выполняемая нерасплавляющимся при сварке электродом.
С. дуговая плавящимся электродом	— Дуговая сварка, выполняемая электродом, который, расплавляясь при сварке, служит присадочным металлом.
С. дуговая полуавтоматическая	— Дуговая сварка, при которой механизирована только подача электродной проволоки.
С. дуговая ручная	— Дуговая сварка штучными электродами, при которой подача электрода и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок производится вручную.
С. контактная	— Сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.
С. контактная точечная	— Контактная сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, ограниченных площадью торцов электродов, подводящих ток и передающих усилия сжатия.
С. контактная шовная	— Контактная сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку вращающимися дисковыми электродами в виде непрерывного или прерывистого шва.

С. плавлением	— Сварка с местным расплавлением соединяемых частей без применения припоя.
С. под слоем флюса	— Дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса.
С. стыковая плавлением	— Стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла сопровождается оплавлением соединяемых торцов.
С.стыковая сопротивлением	— Стыковая контактная сварка, при которой нагрев металла выполняется без оплавления соединяемых торцов.
С. электрошлаковая	— Сварка плавлением, при которой для нагрева металла используется тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак.
СОЕДИНЕНИЕ	
С. нахлесточное	— Сварочное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга.
С. сварное	— Неразъемное соединение, выполняемое сваркой.
С. стыковое	— Сварное соединение двух элементов, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности.
С. тавровое	— Сварное соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент.
С. угловое	— Сварное соединение двух элементов, расположенных под прямым углом и сваренных в месте примыкания их краев.
ФЛЮС	
Ф. для газовой сварки	— Легкоплавкий сварочный флюс в виде порошка или пасты, очищающей при сварке поверхность металла.
Ф. для дуговой сварки	— Сварочный флюс, защищающий дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды и осуществляющий металлургическую обработку ванны.
Ф. керамический сварочный	— Сварочный флюс для дуговой сварки, полученный перемешиванием порошкообразных материалов со связующим веществом.
Ф. плавный сварочный	— Сварочный флюс, плавлением его составляющих.
ШОВ СВАРНОЙ	— Участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации металла сварочной ванны.

4.10. Используемые информационные ресурсы.

Журнал "Сварочное Производство" http://www.ic-tm.ru/info/svarochnoe_proizvodstvo

Журнал «Сварщик» <http://www.welder.kiev.ua>

Тема 5. Основы технологии обработки металлов резанием

Аннотация. Данная тема раскрывает основные понятия механической обработки заготовок деталей машин. Предусматривается изучение основ обработки конструкционных материалов резанием.

Ключевые слова. Станки, стружкообразование, инструмент, изнашивание, обработка заготовок.

5.1. Основные методы обработки резанием.

Механическая обработка поверхностей заготовок является одной из основных завершающих стадий изготовления деталей машин. Одна из актуальных задач машиностроения – дальнейшее развитие, совершенствование и разработка новых технологических методов обработки заготовок деталей машин, применение новых конструкционных материалов и повышение качества обработки деталей машин. Наряду с обработкой резанием применяют методы обработки пластическим деформированием, с использованием химической, электрической, световой, лучевой и других видов энергии.

Обработка металлов резанием – процесс срезания режущим инструментом с поверхности заготовки слоя металла в виде стружки для получения необходимой геометрической формы, точности размеров, взаимного расположения и шероховатости поверхностей детали. Чтобы срезать с заготовки слой металла, необходимо режущему инструменту и заготовке сообщать относительные движения. Инструмент и заготовку устанавливают на рабочих органах станков, обеспечивающих движение.

Движения, которые обеспечивают срезание с заготовки слоя материала или вызывают изменение состояния обработанной поверхности заготовки, называют движениями резания:

Главное движение – определяет скорость деформирования материала и отделения стружки (Дг);

Движение подачи – обеспечивает врезание режущей кромки инструмента в материал заготовки (Дс); Движения подачи: продольное, поперечное, вертикальное, круговое, окружное, тангенциальное.

В процессе резания на заготовке различают поверхности (рис.5.1.а):

- обрабатываемую поверхность (1);
- обработанную поверхность (3);
- поверхность резания (2).

Установочные движения – движения, обеспечивающие взаимное положение инструмента и заготовки для срезания с нее определенного слоя металла.

Вспомогательные движения – транспортирование заготовки, закрепление заготовки и инструмента, быстрые перемещения рабочих органов.

При назначении режимов резания определяют скорости главного движения резания и подачи, и глубину резания.

Скоростью главного движения – называют расстояние, пройденное точкой режущей кромки инструмента в единицу времени (м/с).

Для вращательного движения: $V = \frac{\pi \times D_{\text{заг}} \times n}{1000 \times 60}$, где: $D_{\text{заг}}$ – максимальный диаметр заготовки (мм); n – частота вращения (мин^{-1}).

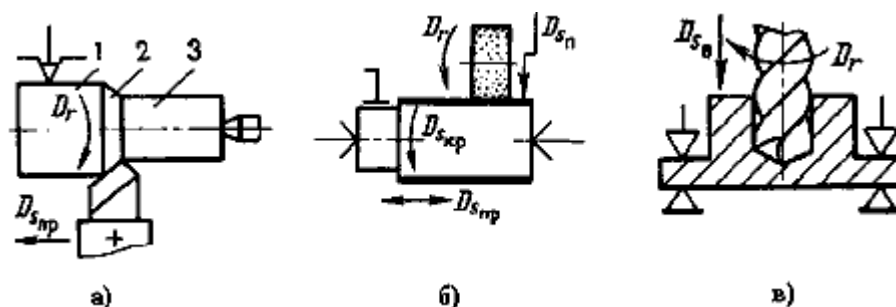


Рис.5.1 Схемы обработки заготовок: а – точением; б – шлифованием на круглошлифовальном станке; в – сверлением

Для возвратно-поступательного движения: $V = \frac{L \times m \times (k + 1)}{1000 \times 60}$, где: L – расчетная длина хода инструмента; m – число двойных ходов инструмента в минуту; k – коэффициент, показывающий соотношение скоростей рабочего и вспомогательного хода.

Подача (S) – путь точки режущей кромки инструмента относительно заготовки в направлении движения подачи за один ход заготовки или инструмента.

В зависимости от технологического метода обработки подачу измеряют:

- мм/об – точение и сверление;
- мм/дв. ход – строгание и шлифование.

Глубина резания (t) – расстояние между обрабатываемой и обработанной поверхностями заготовки, измеренное перпендикулярно к обработанной поверхности (мм).

$$t_{\text{начальная}} = \frac{D_{\text{заз}} - d}{2}$$

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей с относительно малыми шагами. Шероховатость является характеристикой качества поверхностного слоя заготовки. Она оценивается несколькими параметрами, в частности критерием R_a .

R_a – среднее арифметическое отклонение профиля (среднее арифметическое абсолютных значений отклонений профиля) в пределах определенной базовой длины обработанной поверхности.

Допустимые значения шероховатости поверхностей деталей указываются на чертежах. Значение параметра R_a для разных технологических методов обработки лежат в пределах, мкм:

- для предварительной черновой обработки – 100...22,5 ;
- для чистовой обработки – 6,3...0,4 ;
- для отделочной и доводочной обработки – 0,2...0,012.

5.2. Физические основы резания металлов.

Процесс резания (стружкообразования) является сложным физическим процессом, сопровождающимся большим тепловыделением, деформацией металла, износом режущего инструмента и наростообразованием на поверхности инструмента. Знание закономерностей процесса резания и сопровождающих его явлений позволяет рационально управлять этим процессом и изготавливать детали более качественно, производительнее и экономично. При резании различных материалов образуются следующие стружки (рис. 5.2): сливные (непрерывные), скалывания (элементные) и надлома.

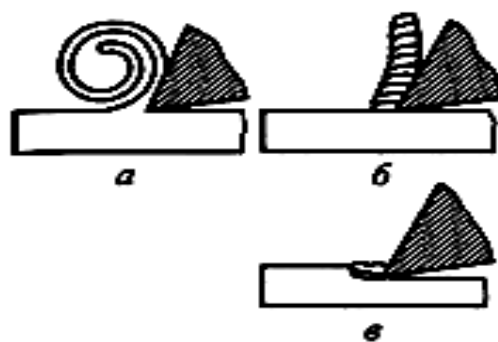


Рис. 5.2. Типы стружек

Сливная стружка (рис. 5.2, а) образуется в процессе резания пластичных металлов (например, мягкой стали, латуни) при высокой скорости резания, малых подачах и температуре 400... 500 °С. Образованию сливной стружки способствует уменьшение угла резания δ (при оптимальном значении переднего угла γ) и высокое качество СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость). Угол резания $\delta = 90^\circ - \lambda = \alpha + \beta$, где α — задний угол резания; β — угол заострения. Стружка скалывания (рис. 5.2, б) состоит из отдельных связанных один с другим элементов и имеет пилообразную поверхность. Такая стружка образуется в процессе резания твердой стали и некоторых видов латуни при малой скорости резания и больших подачах. При изменении условий резания стружка скалывания может перейти в сливную, и наоборот. Стружка надлома (рис. 5.2, в) образуется при резании мало- пластичных материалов (чугуна, бронзы) и состоит из отдельных кусочков.

Режущий инструмент деформирует не только слой, но и поверхностный слой обрабатываемой детали. Деформация поверхностного слоя металла зависит от различных факторов, ее глубина составляет от сотых долей до нескольких десятых долей миллиметра. Под действием деформации поверхностный слой металла упрочняется, увеличивается его твердость и уменьшается пластичность, т.е. происходит так называемый наклеп обрабатываемой поверхности.

Чем мягче и пластичнее обрабатываемый металл, тем интенсивнее процесс образования наклепа. Чугуны обладают значительно меньшей способностью к упрочнению, чем стали. Глубина и степень упрочнения при наклепе возрастают с увеличением подачи и глубины резания и уменьшаются с увеличением скорости резания. При работе плохо заточенным инструментом глубина наклепа примерно в два-три раза больше, чем при работе остро-заточенным инструментом. Применение СОЖ значительно уменьшает глубину и степень упрочнения поверхностного слоя.

При обработке металлов и, особенно, пластичных материалов (например, резцом) в непосредственной близости к режущей кромке резца на его переднюю поверхность налипает обрабатываемый материал, образуя металлический нарост. Этот нарост имеет клиновидную форму, а его твердость в два-три раза превышает твердость обрабатываемого материала. Являясь «продолжением» резца, нарост изменяет геометрические параметры резца ($\delta_1 < \delta$, где δ — исходный угол резания; δ_1 — угол резания с учетом нароста), участвует в резании металла и оказывает влияние на результаты обработки, износ резца и силы, действующие на резец. При обработке нарост периодически скалывается и образуется вновь; отрыв частиц нароста происходит неравномерно по длине режущего лезвия, что приводит к мгновенному изменению глубины резания. Эти периодически повторяющиеся явления увеличивают шероховатость обработанной поверхности. При скорости резания $v < 5$ м/мин и обработке хрупких металлов, например чугуна, нарост, как правило, не образуется. С увеличением

пластичности обрабатываемого металла размеры нароста возрастают. Наибольший нарост на инструменте из быстрорежущей стали образуется при скорости резания $v = 10...20$ м/мин, а на инструментах из твердых сплавов — при $v > 90$ м/мин. На этом основании не рекомендуется производить чистовую обработку на этих скоростях.

С увеличением подачи нарост увеличивается, поэтому при чистовой обработке рекомендуется подача $0,1...0,2$ мм/об. Глубина резания существенного влияния на размеры нароста не оказывает. Для уменьшения нароста рекомендуется уменьшать шероховатость передней поверхности режущего инструмента, по возможности, увеличивать передний угол лезвия γ (например, при $\gamma = 45^\circ$ нарост почти не образуется) и применять СОЖ. При черновой обработке образование нароста, напротив, благоприятно сказывается на процессе резания.

В процессе резания металлов около 80 % работы затрачивается на пластическое и упругое деформирование срезаемого слоя и слоя, прилегающего к обработанной поверхности и поверхности резания, и около 20 % работы — на преодоление трения по передней и задней поверхностям инструмента. Примерно 85...90 % всей работы резания превращается в тепловую энергию, количество которой (в зоне резания) существенно влияет на износ и стойкость инструмента, на шероховатость обработанной поверхности. Установлено, что свыше 70 % этой теплоты уносится стружкой, 15...20 % — поглощается инструментом, 5... 10 % — деталью и только 1 % теплоты излучается в окружающее пространство. Температура в зоне резания зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала, режимов резания, геометрических параметров режущего инструмента и применяемой СОЖ (смазочно-охлаждающая жидкость). При обработке стали теплоты выделяется больше, чем при обработке чугуна. С увеличением прочности и твердости обрабатываемого материала температура в зоне резания повышается и при тяжелых условиях работы может достигать $1000... 1100$ °С. При увеличении подачи температура в зоне резания также повышается, но менее интенсивно, чем при увеличении скорости резания. Глубина резания оказывает наименьшее (по сравнению со скоростью и подачей) влияние на температуру в зоне резания. При увеличении угла резания δ и главного угла в плане ϕ температура в зоне резания возрастает, а при увеличении радиуса ρ скругления режущей кромки — уменьшается. Применение СОЖ существенно уменьшает температуру в зоне резания.

Износ режущего инструмента значительно отличается от износа деталей машин, поскольку зона резания, в которой работает инструмент, характеризуется высокой химической чистотой трущихся поверхностей, высокими температурой и давлением в зоне контакта. Механизм износа инструмента при резании металлов включает в себя абразивный, адгезионный и диффузионный износ. Удельное влияние каждого из них зависит от свойств материала, инструмента и детали, а также условий обработки (прежде всего скорости резания).

Абразивный износ инструмента заключается в следующем: стружка внедряется в рабочую поверхность инструмента и путем микроцарапаний удаляет с нее металл. Интенсивность абразивного износа повышается при снижении скорости резания.

Адгезионный износ инструмента происходит в результате схватывания или прилипания трущихся поверхностей и последующего отрыва мельчайших частиц материала инструмента. Результатом этого износа, происходящего при температуре ниже 900 °С, являются кратеры на рабочих поверхностях инструмента, образующие при слиянии лунки. Адгезионный износ уменьшается при повышении твердости инструмента.

Диффузионный износ инструмента, происходящий при температуре $900... 1200$ °С, является результатом взаимного растворения металла заготовки и материала инструмента. Активность процесса растворения повышается при повышении температуры контактного

слоя, т.е. при возрастании скорости резания. На основании этого диффузионный износ можно рассматривать как один из видов химического износа, приводящего к изменению химического состава и физико-химических свойств поверхностных слоев инструмента и снижающего его износостойкость.

Чем выше механические свойства обрабатываемого материала и содержание в нем углерода, хрома, вольфрама, титана, молибдена, тем интенсивнее износ инструмента. Наибольшее влияние на интенсивность износа оказывает скорость резания, наименьшее — подача и глубина резания.

Стойкость инструмента характеризуется его способностью без переточки длительное время обрабатывать заготовки в соответствии с техническими требованиями. Стойкость определяется временем непосредственной работы инструмента (исключая время перерывов) между переточками; это время называется периодом стойкости инструмента или стойкостью инструмента. Наибольшее влияние на стойкость инструмента оказывает скорость резания. Так, повышение скорости резания на 50 % снижает стойкость инструмента примерно на 75 %, в то время как аналогичное увеличение подачи снижает стойкость на 60 %.

В процессе резания выделяется большое количество тепла и значительно повышается температура в зоне контакта режущего инструмента с обрабатываемой деталью и отделяемой стружкой. При скоростном резании, когда режущий инструмент изготавливается из теплостойких материалов, нагрев играет положительную роль, так как в зоне резания происходит смягчение обрабатываемого материала и снижение усилия резания. Однако в большинстве случаев в результате повышения температуры в зоне резания снижаются стойкость режущего инструмента и производительность труда. Для улучшения отвода тепла из зоны резания и снижения коэффициента трения применяются смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ). По своему химическому составу и физическим свойствам СОЖ разделяются на основные две группы:

- *водные растворы* (электролиты), содержащие небольшое количество солей щелочных металлов (например, 5—10% кальцинированной соды); масляные эмульсии; масла с присадкой серы и хлорных соединений. Охлаждающая способность различных видов СОЖ ниже охлаждающей способности воды. Так, охлаждающая способность водных растворов соды составляет 80—90% (в зависимости от концентрации), масляных эмульсий — 30—80%, масла — 25% охлаждающей способности воды. Водные растворы обладают высокими охлаждающей способностью, антикоррозионными и моющими свойствами. Они неблагоприятно действуют на окраску, шпаклевку станка и смазку подшипников.

- *масляные эмульсии*. В них масло распределено в виде малых капель, принимающих под действием поверхностного натяжения сферическую форму. Для устойчивости таких эмульсий в их состав вводится эмульгатор — различного рода мыло. Эмульгатор образует на поверхности капель адсорбционные пленки, которые предохраняют капли от слипания масла с присадкой серы. Присадка серы позволяет снизить мощность, потребляемую в процессе резания, увеличить (в большей степени, чем при применении других СОЖ) стойкость инструмента. Основными марками применяемых в настоящее время осерненных масел являются сульфифрезол В — веретенное масло с добавкой 1,5—2,4% серы и сульфифрезол Р

- *соляровое масло* с добавкой 0,9—1,5% серы.

Применение СОЖ благоприятно воздействует на процесс резания металлов: значительно уменьшается износ режущего инструмента, повышается качество обработанной

поверхности и снижаются затраты энергии на резание. При этом уменьшается наростообразование у режущей кромки инструмента и улучшаются условия для удаления стружки и абразивных частиц из зоны резания. Наименьший эффект дает применение СОЖ при обработке чугуна и других хрупких материалов.

Выбор СОЖ зависит от обрабатываемого материала и вида обработки. СОЖ должна обладать высокими охлаждающими, смазывающими антикоррозионными свойствами и быть безвредной для обслуживающего персонала. Все СОЖ можно разбить на две основные группы - охлаждающие и смазочные. К первой группе относятся водные растворы и эмульсии, обладающие большой теплоемкостью и теплопроводностью. Широкое распространение получили водные эмульсии, содержащие поверхностно-активные вещества; водные эмульсии применяются при обдирочных работах, когда к шероховатости обработанной поверхности не предъявляют высоких требований. Ко второй группе относятся минеральные масла, керосин, а также растворы поверхностно-активных веществ в масле или керосине. Жидкости этой группы применяются при чистовых и отделочных работах. Применение СОЖ при обработке металлов резанием и давлением позволяет увеличить производительность оборудования, повысить точность обработанных поверхностей и снизить их шероховатость, уменьшить брак, улучшить условия труда и в ряде случаев сократить число технологических операций.

5.3. Классификация металлорежущих станков.

По общности технологического метода обработки различают станки: токарные, фрезерные, сверлильные и др.

По назначению различают станки: широкоуниверсальные, универсальные, широкого назначения, специализированные, специальные. Универсальные станки обрабатывают разнотипным инструментом различающиеся по размерам, форме и расположению поверхностей заготовки. Широкоуниверсальные – предназначены для выполнения особо широкого разнообразия работ. Станки широкого назначения характеризуются однотипностью применяемого инструмента. Специализированные станки предназначены для обработки однотипных заготовок различных размеров. Специальные станки предназначены для выполнения определенных видов работ на заготовках одинаковых размеров и конфигурации.

По массе: легкие (до 1т), средние (до 10т), тяжелые (свыше 10т) и уникальные (свыше 100т).

По степени автоматизации: с ручным управлением, полуавтоматы и автоматы.

По компоновке основных рабочих органов: горизонтальные и вертикальные.

В общегосударственной единой системе (ЭНИМС) станки разделяются на 10 групп и 10 типов. В группы объединены станки одинаковые или схожие по технологическому методу обработки. Типы характеризуют их назначение, степень автоматизации, компоновку.

5.4. Технологические возможности и область применения способов резания.

- **Точение** является основным способом обработки поверхностей тел вращения. Процесс резания осуществляется на токарных станках при вращении обрабатываемой заготовки (главное движение) и перемещении резца (движение подачи).

Движение подачи осуществляется:

- параллельно оси вращения заготовки (продольная);
- перпендикулярно оси вращения заготовки (поперечная);

- под углом к оси вращения заготовки (наклонная).

Схемы обработки поверхностей заготовки точением представлены на рис. 5.3. С помощью точения выполняют операции: обтачивание – обработку наружных поверхностей (рис.5.3.а); растачивание – обработку внутренних поверхностей (рис.5.3.б); подрезание – обработку торцевых поверхностей (рис.5.3.в); резку – разрезание заготовки на части (рис.5.3.г); резьбонарезание – нарезание резьбы (рис.5.3.д).

По технологическим возможностям точение условно подразделяют на: черновое, получистовое, чистовое, тонкое.

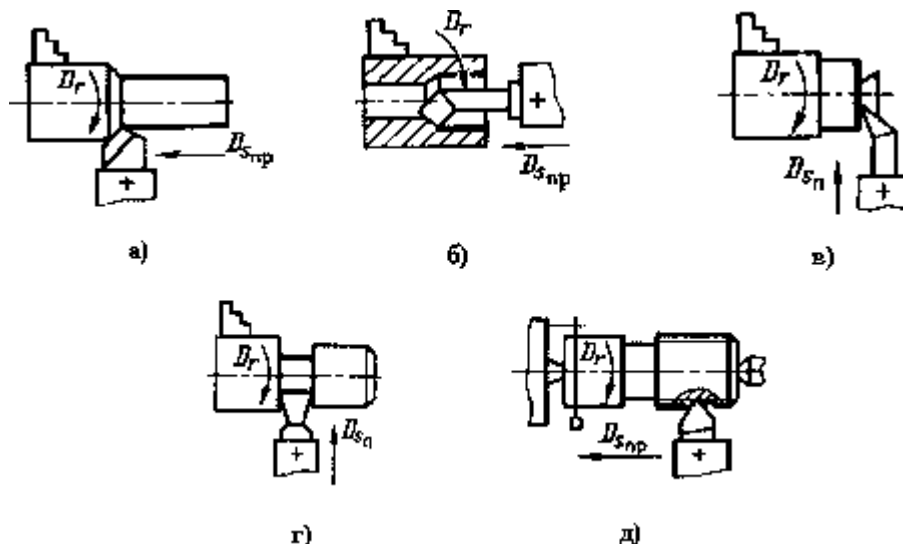


Рис. 5.3. Схемы обработки поверхностей заготовки точением

В качестве режущего инструмента при точении используют резцы. Главным принципом классификации резцов является их технологическое назначение.

Различают резцы:

- *проходные* – для обтачивания наружных цилиндрических и конических поверхностей;
- *расточные* – проходные и упорные – для растачивания глухих и сквозных отверстий;
- *отрезные* – для отрезания заготовок;
- *резьбовые* – для нарезания наружных и внутренних резьб;
- *фасонные* – для обработки фасонных поверхностей;
- *прорезные* – для протачивания кольцевых канавок;
- *галтельные* – для обтачивания переходных поверхностей между ступенями валов по радиусу.

- **Сверление** является основным способом получения глухих и сквозных цилиндрических отверстий в сплошном материале заготовки. В качестве инструмента при сверлении используется сверло, имеющее две главные режущие кромки. Для сверления используются сверлильные и токарные станки. На сверлильных станках сверло совершает вращательное (главное) движение и продольное (движение подачи) вдоль оси отверстия, заготовка неподвижна (рис.5.4.а). При работе на токарных станках вращательное (главное движение) совершает обрабатываемая деталь, а поступательное движение вдоль оси отверстия (движение подачи) совершает сверло (рис.5.4.б). Диаметр просверленного отверстия можно увеличить сверлом большего диаметра. Такие операции называются *рассверливанием* (рис.5.4.в).

При сверлении обеспечиваются сравнительно невысокая точность и качество поверхности. Для получения отверстий более высокой точности и чистоты поверхности после сверления на том же станке выполняются зенкерование и развертывание.

- **Зенкерование** – обработка предварительно полученных отверстий для придания им более правильной геометрической формы, повышения точности и снижения шероховатости. Многолезвийный режущим инструментом – зенкером, который имеет более жесткую рабочую часть, отсутствует! число зубьев не менее трех (рис.5.4..г).

Развертывание – окончательная обработка цилиндрического или конического отверстия разверткой в целях получения высокой точности и низкой шероховатости. Развертки – многолезвийный инструмент, срезающий очень тонкие слои с обрабатываемой поверхности (рис.5.4..д).

Схемы сверления, зенкерования и развертывания представлены на рисунке 5.4.

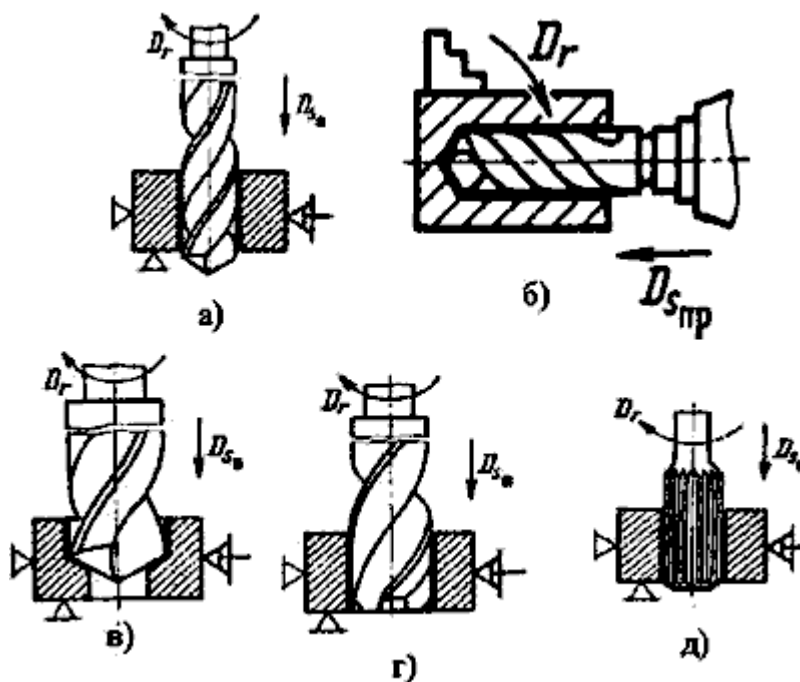


Рис.5.4. Схемы сверления, зенкерования и развертывания

- **Фрезерование** – высокопроизводительный и распространенный метод обработки поверхностей заготовок: многолезвийным режущим инструментом – фрезой. Главным движением при фрезеровании является вращение фрезы, а вспомогательным поступательное перемещение заготовки. Движение подачи может быть и вращательное движение заготовки вокруг оси вращающегося стола или барабана (карусельно- фрезерные, и барабанно-фрезерные станки). Каждый режущий зуб при вращении фрезы врезается в заготовку и осуществляет резание только в пределах определенного угла поворота фрезы, а затем вращается в холостую до следующего врезания. Таким образом, особенностью процесса фрезерования является периодичность и прерывистость процесса резания каждым зубом фрезы, при чем процесс врезания зуба сопровождается ударами. По исполнению фрезы делятся на цилиндрические, когда зубья располагаются только на цилиндрической поверхности фрезы и торцевые, у которых режущие зубья располагаются на торцевой и цилиндрической поверхности фрезы.

- **Шлифование** – процесс обработки заготовок резанием с помощью инструментов (кругов), состоящих из абразивного материала. Абразивные зерна расположены беспорядочно. При вращательном движении в зоне контакта с заготовкой часть зерен срезает

материал в виде очень большого числа тонких стружек (до 100000000 в мин.). Процесс резания каждым зерном осуществляется мгновенно. Обработанная поверхность представляет собой совокупность микро-следов абразивных зерен и имеет малую шероховатость. Шлифование применяют для чистовой и отделочной обработки деталей с высокой точностью. Главным движением при шлифовании является вращение шлифовального круга, а перемещение круга относительно детали является движением подачи. Различают следующие основные схемы шлифования: плоское, круглое, внутреннее. Шлифованием обрабатываются только жесткие детали, не формирующиеся в процессе обработки. Данный способ не допускает обработки малых отверстий.

5.5. Технологические методы отделочной (финишной) обработки поверхностей деталей машин

Дальнейшее развитие машиностроения связано с увеличением нагрузок на детали машин, увеличением скоростей движения, уменьшением массы конструкции. Выполнить эти требования можно при достижении особых качеств поверхностных слоев деталей.



Влияние качества поверхностных слоев на эксплуатационные свойства огромно, изменяются: износостойкость; коррозионная стойкость; контактная жесткость; прочность соединений и другие свойства. С этой целью широко применяются отделочные методы обработки, для которых характерны малые силы резания, незначительное тепловыделение, малая толщина срезаемого слоя.

- **Хонингование** применяют для получения поверхностей высокой точности и малой шероховатости, а также для создания специфического микро-профиля обработанной поверхности в виде сетки (для удержания смазочного материала на поверхности деталей). Поверхность неподвижной заготовки обрабатывается мелко-зернистыми абразивными брусками, закрепленными в хонинговальной головке (хоне). Бруски вращаются и одновременно перемещаются возвратно- поступательно вдоль оси обрабатываемого отверстия (рис. 5.5.а). Соотношение скоростей движений составляет 1,5...10, и определяет условия резания.

При сочетании движений на обрабатываемой поверхности появляется сетка микроскопических винтовых царапин – следов перемещения абразивных зерен. Угол θ пересечения этих следов зависит от соотношения скоростей (рис. 5.5.б).

Абразивные бруски всегда контактируют с обрабатываемой поверхностью, так как могут раздвигаться в радиальном направлении. Давление бруска контролируется. Хонингованием исправляют погрешности формы от предыдущей обработки, а чистовое – для повышения качества поверхности. Этот процесс осуществляется на специальных хонинговальных установках.

- **Суперфиниширование** уменьшает шероховатость поверхности, оставшуюся от предыдущей обработки. Получают очень гладкую поверхность, сетчатый рельеф, благоприятные условия для взаимодействия поверхностей. Поверхности обрабатывают абразивными брусками, установленными в специальной головке. Для суперфиниширования характерно колебательное движение брусков наряду с движением заготовки (рис. 5.6).

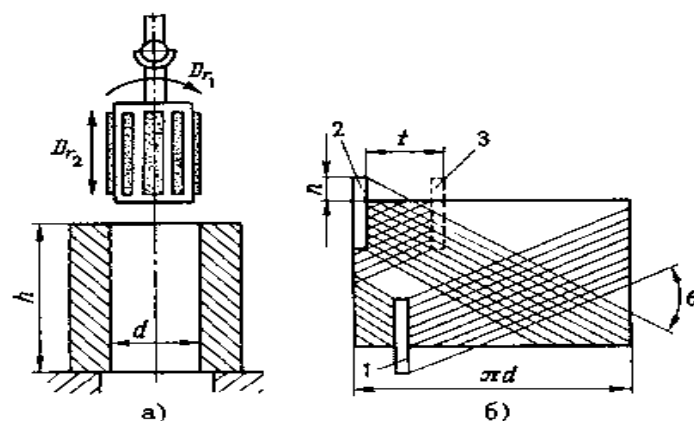


Рис. 5.5. Схема хонингования.

Процесс резания происходит при давлении брусков $(0,5...3)10^5$ Па в присутствии смазочного материала малой вязкости. Амплитуда колебаний 1,5...6 мм. Частота колебаний 400...1200 мин⁻¹. Бруски подпружинены и самоустанавливаются по обрабатываемой поверхности. Соотношение скоростей $D_{скр}$ к D_r в начале обработки составляет 2...4, а в конце – 8...16.

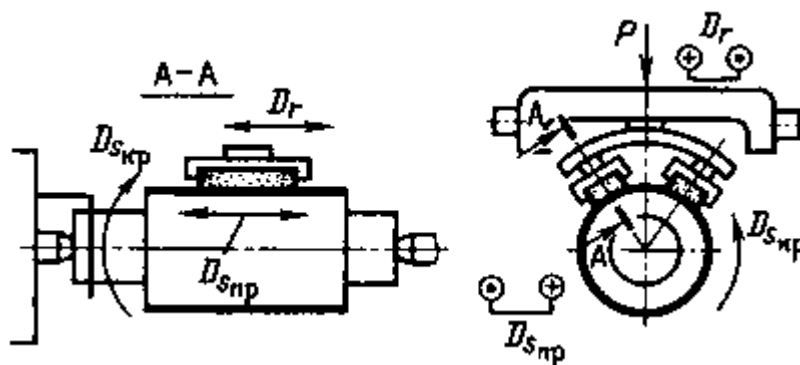


Рис. 5.6. Схема суперфиниширования

5.6. Характеристика электрофизических и электрохимических методов обработки

Эти методы предназначены в основном для обработки заготовок из очень прочных, весьма вязких, хрупких и неметаллических материалов.



Они имеют следующие преимущества:

- отсутствует силовое воздействие инструмента на заготовку (или очень мало и не влияет на суммарную погрешность обработки);
- позволяют менять форму поверхности заготовки и влияют на состояние поверхностного слоя: наклеп обработанной поверхности не образуется, дефектный слой незначителен; повышаются коррозионные, прочностные и другие эксплуатационные характеристики поверхности;
- можно обрабатывать очень сложные наружные и внутренние поверхности заготовок.

ЭФЭХ методы обработки являются универсальными и обеспечивают непрерывность процессов при одновременном формообразовании всей обрабатываемой поверхности. Эти методы внедряются в различных отраслях промышленности. Сущность физико-химических методов размерной обработки К физико-химическим методам размерной обработки (ФХО) материалов относят методы, обеспечивающие сьем обрабатываемого материала в результате

физико-химических процессов. По механизму разрушения и съема материала все физико-химические процессы обработки подразделяют на три группы: электрофизические методы обработки (ЭФО), электрохимические методы обработки (ЭХО) и комбинированные. Рассмотрим основные, наиболее применяемые и перспективные, методы обработки: электроэрозионную, электрохимическую, лучевые, ультразвуковую, а также комбинированные способы. Каждый из методов ФХО обладает уникальными технологическими возможностями, но все они более энергоемки и менее производительны в сравнении с методами механообработки.



Поэтому использование методов ФХО оправдано только в следующих случаях:

- для обработки конструкционных материалов, имеющих низкую обрабатываемость лезвийным и абразивными инструментами, в том числе высоколегированных сталей, твердых сплавов, ферритов, керамики, полупроводников, ситалла и др.;
- для обработки деталей сложной геометрической формы из труднообрабатываемых материалов (пресс-формы, детали лопаток турбин и т. п.);
- для обработки миниатюрных тонкостенных нежестких деталей, а также деталей сложной формы с пазами и отверстиями.

Эффективность применения методов ФХО проявляется тем больше, чем сложнее форма обрабатываемой поверхности детали, выше физико-механические свойства материала и чем большие трудности возникают при ее изготовлении методами механической обработки.

Электроэрозионная обработка основана на использовании явления электрической эрозии — разрушения материала электродов при электрическом пробое межэлектродного промежутка. Размерная ЭЭО заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхности заготовки путем съема материала припуска за счет управляемого процесса электрической эрозии. На рис.5.8. приведена условная схема процесса ЭЭО. Изолированные электрод-инструмент 1 и обрабатываемая заготовка 2 погружены в рабочую диэлектрическую жидкость и соединены с генератором электрических импульсов 3. Между электродом и деталью электрическим пробоем межэлектродного промежутка (МЭП) возбуждается импульсный разряд 4, который мгновенно нагревает микроучастки электродов и контактирующую с ними жидкость. В результате в зоне разряда формируется газовый пузырь 5. В конце каждого импульса происходит схлопывание пузыря. При этом продукты эрозии — шлам — в виде гранул 6 удаляются из МЭП рабочей жидкостью 8, а на поверхности электрода-заготовки образуется эрозионная лунка 7. За время паузы происходит восстановление электрической прочности МЭП до исходного значения. Затем, при подаче следующего импульса напряжения, весь процесс повторяется, но пробой происходит уже там, где напряженность примет максимальное значение, — в зазоре между наиболее близкими микровыступами поверхности заготовки и инструмента. Процесс эрозии заготовки продолжается до полного удаления металла, находящегося на расстоянии электрического пробоя (0,01...0,15 мм)

Лучевые методы размерной обработки заготовок деталей машин. К лучевым методам электрофизической обработки относятся электроннолучевая (ЭЛО) и светолучевая (СЛО) обработки. Различие носителей энергии обусловило технологические особенности методов лучевой обработки.

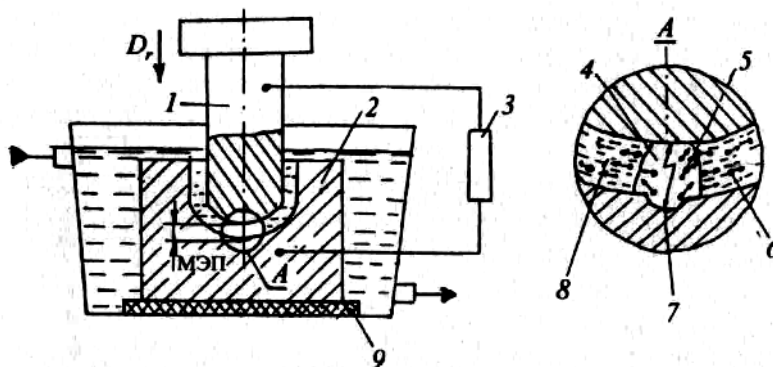


Рис. 5.8. Условная схема процесса ЭЭО: 1 — электроинструмент; 2 — обрабатываемая поверхность; 3 — генератор электрических импульсов; 4 — электрический разряд; 5 — газовый пузырь; 6 — продукты эрозии (шлам); 7 — эрозионная лунка; 8 — рабочая жидкость; 9 — изолятор

Электронно-лучевая размерная обработка (ЭЛО). При электроннолучевой размерной обработке для съема материала при формообразовании используют кинетическую энергию сфокусированного пучка электронов (рис. 5.9.). Процесс ЭЛО осуществляется в вакууме при остаточном давлении газа $5 \cdot 10^{-2} — 10^{-3}$ Па. Формирование, фокусировка и управление электронным лучом осуществляются в электронной пушке. Электроны, эмиттируемые катодом, ускоряются напряжением до 150 кВ, в результате скорость электронов в луче достигает $20 \cdot 10^4$ м/с. После фокусировки плотность энергии в пучке составляет $10^8 — 10^9$ Вт/см². Сфокусированный пучок электронов проходит в рабочую камеру и бомбардирует обрабатываемую поверхность. При бомбардировке кинетическая энергия электронов преобразуется в тепловую энергию обрабатываемого вещества. Преобразование происходит при неупругих столкновениях быстрых электронов с электронами атомов вещества и последующем взаимодействии возбужденных атомов с атомной решеткой, вызывающем увеличение температуры вещества.

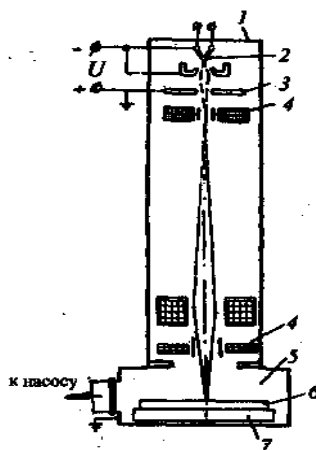


Рис. 5.9. Условная схема процесса электронно-лучевой обработки:
1 — электронно-лучевая пушка; 2 — катод; 3 — анод; 4 — фокусирующие и отклоняющие катушки; 5 — вакуумная камера; 6 — обрабатываемая деталь; 7 — координатный стол

Электронно-лучевой нагрев ведется в импульсном режиме. При используемой удельной мощности тепловое воздействие луча приводит к разрушению нагреваемого микрообъема материала за время одного импульса. Разрушение происходит по механизму

взрывного вскипания с выносом материала из зоны обработки в виде паров и капель. В результате на бомбардируемом электронным лучом участке поверхности формируется лунка. На поверхности лунки образуется слой оплавленного металла, снижающий точность обработки. Размеры лунки, нагрев и доля жидкого металла на ее стенках регулируются мощностью и длительностью импульса, а также диаметром луча. Формируемые в результате электронно-лучевой обработки поверхности определяются траекторией взаимного перемещения луча и детали. Основные операции обработки — сверление глухих и сквозных отверстий, в том числе под углом к поверхности, — выполняются при неподвижном изделии и луче; фрезерование сквозных и глухих пазов, контурная резка листового материала выполняются при перемещении изделия относительно неподвижного луча или сканировании луча по контуру реза при неподвижном изделии

Область применения ЭЛО. Электронным лучом обрабатываются как электропроводные, так и неэлектропроводные материалы. В первую очередь электронный луч применяют для размерной обработки твердых труднообрабатываемых материалов, таких, как алмаз, вольфрам, титан, твердые и высоколегированные сплавы, ковар, инвар, кварц, керамика, рубин, кристаллы кремния, германия, резистивные пленки на ситалловой и кварцевой подложках. Метод обеспечивает получение отверстий диаметром 0,01—0,5 мм с максимальной глубиной 10 мм (для металлов) и 15—20 мм (для диэлектриков), позволяет получать детали из феррита, кремния, германия и фильеры с шириной реза 0,015—0,4 мм при наибольшей глубине обработки 3 мм. Фрезерование сквозных и глухих пазов ЭЛО обеспечивает высокую точность и малую шероховатость обработанной поверхности. К недостаткам метода относятся: необходимость использования вакуумной среды при обработке любых материалов; ограниченный круг выполняемых операций; высокая стоимость высоковольтного и вакуумного оборудования.

Светолучевая (лазерная) размерная обработка использует для съема материала при формообразовании деталей сфокусированный поток электромагнитной энергии высокой мощности, сформированный оптическим квантовым генератором (ОКГ). Светолучевая (лазерная) обработка (СЛО) во многих случаях заменяет электронно-лучевую, так как лазерная обработка ведется на воздухе и не требует специальных вакуумных камер. Она позволяет обрабатывать любые материалы независимо от их твердости и вязкости. Метод используется для сверления отверстий, вырезания заготовок, фрезерования пазов и т. д. Благодаря созданию мощного промышленного оборудования лазерная размерная обработка используется не только для обработки прецизионных деталей, но и в машиностроении. Схемы процессов приведены на рис. 5.10, а, б. Интенсивный поток электромагнитной энергии формируется оптическим квантовым генератором (ОКГ). В зависимости от технологической задачи диаметр луча в фокусе оптической системы составляет 0,001—0,2 мм и удельная мощность $1 \cdot 10^6$ — $1 \cdot 10^9$ Вт/см². Падающий на поверхность обрабатываемого материала световой поток частично отражается, а основная часть его поглощается электронами проводимости в поверхностном слое материала, увеличивая их энергию. Электроны передают энергию кристаллической решетке, вызывая нагрев, плавление и испарение металла. Нагрев при СЛО ведется в импульсном режиме. При удельной мощности 10^7 — 10^8 Вт/см² тепловое воздействие луча вызывает разрушение нагреваемого материала за время одного импульса. Разрушения происходят по механизму взрывного объемного вскипания с выносом материала в виде паров и капель. Вскипанию способствуют растворенные в материале газы. В результате на участке воздействия лазерного луча формируется лунка. Практическое использование разрушения металлов объемным выкипанием и особенно испарением требует высоких энергозатрат. Заметное снижение

энергозатрат достигается использованием вспомогательного газа для удаления продуктов разрушения из зоны обработки. При лазерной резке излучение ОКГ обеспечивает локальное плавление металла, а удаление расплава из канала реза осуществляется динамическим воздействием газа (см. рис. 5.10). В процессе облучения часть падающего светового луча отражается от обрабатываемой поверхности. Для снижения отражения при СЛО используется чернение обрабатываемой поверхности.

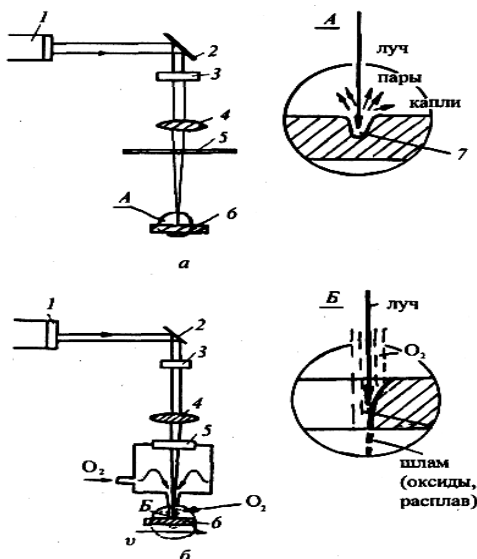


Рис. 5.10. Условные схемы лазерной обработки (а) и газолазерной резки (б): 1 — оптический квантовый генератор; 2 — зеркало; 3 — затвор; 4 — линза; 5 — окно; 6 — обрабатываемое изделие; 7 — лунка (кратер)

Эффективным способом повышения КПД процесса газолазерной резки металлов и горючих материалов (полимеров, дерева и т. п.) является струи кислорода или воздуха. Этот процесс получил название газолазерной резки. Струя кислорода способствует предварительному окислению металла и уменьшению его отражательной способности; вступая в газотермическую реакцию с нагреваемым материалом, усиливает термические воздействия светового излучения и способствует удалению расплава из зоны реза. Для размерной СЛО характерны следующие схемы обработки: моноимпульсная — обработка ведется одиночным импульсом ОКГ и отверстие получают за один импульс; многоимпульсная — отверстие получают при последовательном воздействии нескольких импульсов; режим импульсной обработки с перемещением светового луча относительно заготовки; режим фрезерования и газолазерной резки с перемещением светового луча относительно заготовки.

5.7. Вопросы самопроверки.

- 1) Дайте определение составляющих режимов резания.
- 2) Какова физическая сущность процесса резания?
- 3) Каковы основные свойства инструментальных материалов, обеспечивающие стабильность процесса резания?
- 4) Назовите основные критерии технологичности конструкций деталей машин.
- 5) Назовите факторы, определяющие качество поверхностного слоя обработанных поверхностей деталей машин.

6) Назовите основные типы станков токарной группы.

7) При каких условиях тонкое обтачивание может заменить шлифование?

5.8. Глоссарий по теме 5.

АДГЕЗИЯ	— Сцепление приведенных в контакт разнородных тел, обусловленное межмолекулярной или химической связью.
БАБКА СТАНКА	— Часть металлорежущего станка. Служит опорой для шпинделя, передающего вращение заготовке (напр., передняя Б. токарного станка), либо для устройства, поддерживающего заготовку (задняя Б. токарного станка).
БАЗА	— Поверхность заготовки, определяющая положение обрабатываемой детали относительно металлорежущего станка. Различают Б. Установочную, на которую устанавливают для обработки, и измерительную, относительно которой производят отсчет размеров.
ЖИДКОСТЬ СМАЗЫВАЮЩЕ- ОХЛАЖДАЮЩАЯ ЗАГОТОВКА	— Жидкость отводящая теплоту, снижающая работу трения и деформации в некоторых процессах обработки металлов резанием.
	— Полуфабрикат, предназначенный для последующей обработки и превращения его в изделие.
ИЗНОС	— Изменение размеров, формы или состояния поверхности образца или изделия вследствие разрушения поверхностного слоя, в частности в процессе трения.
абразивный И.	— Износ, обусловленный наличием царапающих и режущих твердых частиц в зоне контакта.
ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ	— Способность материалов или изделий сопротивляться износу в условиях внешнего трения, характеризуется длительностью работы до предельно-заданного износа.
ЗЕНКЕР	— Многолезвийный режущий инструмент с 3-4 режущими кромками и спиральными канавками для зенкерования цилиндрических отверстий металлических, пластмассовых и других деталей.
ЗЕНКЕРОВАНИЕ	— Процесс обработки цилиндрических и конических необработанных отверстий в деталях, полученных литьем, ковкой, штамповкой или предварительно просверленных с целью увеличения диаметра, улучшения качества их поверхности, повышения точности (уменьшения конусности, овальности, разбивки).
ЗЕНКОВАНИЕ	— Операция обработки цилиндрических или конических углублений и фасок просверленных отверстий под головки болтов, винтов и заклепок.
МЕТЧИК	— Металлорежущий инструмент для нарезания внутренней резьбы в изделиях.
ПЛАШКА	— Осевой многолезвийный инструмент для образования и обработки наружной резьбы.
ПОДАЧА	— Величина перемещения инструмента за один оборот или цикл

	обработки заготовки.
РАЗВЕРТКА	— Металлорежущий многолезвийный инструмент для чистовой обработки отверстий.
РАЗВЕРТЫВАНИЕ	— Чистовая обработка конических и цилиндрических отверстий при помощи разверток. При Р. с поверхности предварительно обработанного отверстия снимается припуск обычно в несколько десятков мкм, обеспечивается высокая точность и малая шероховатость поверхности.
РАСВЕРЛИВАНИЕ	— Обработка сверлением предварительно просверленного или отлитого отверстия в заготовке. Р. применяется для повышения точности расположения отверстий.
РАСТАЧИВАНИЕ	— Обработка резцами предварительно полученных отверстий на расточных, сверлильных, токарных, фрезерных и др. станках с целью получения отверстия заданного диаметра и обеспечения совпадения оси с осью вращения или инструмента.
РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ	— Обработка металлов снятием стружки для придания изделию заданной формы, размеров и обеспечения определенного технологией качества поверхности.
СВЕРЛЕНИЕ	— Образование снятием стружки отверстия в сплошном материале при помощи сверла, совершающего обычно вращательное и поступательное движение относительно своей оси.
ТОЧЕНИЕ, ТОКАРНАЯ ОБРАБОТКА	— Операция обработки путем снятия стружки при помощи резцов наружных и внутренних поверхностей тел вращения (цилиндрических, конических или фасонных), а также спиральных и винтовых деталей. Характеризуется вращательным движением заготовки (главное движение) и поступательным движением резца (движение подачи).
ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ	— Соответствие формы, размеров и положения обработанной поверхности требованиям чертежа и техническим условиям.
ШЕРОХОВАТОСТЬ	— Совокупность микронеровностей обработанной поверхности, образующих ее рельеф и рассматриваемых на определенном участке.
ШПИНДЕЛЬ	— Вал металлорежущего станка, передающий вращение инструменту или обрабатываемой заготовке.
ЭМУЛЬСИЯ	— Эмульсия, содержащая воду, масло ингибитор коррозии, поверхностно-активные вещества и эмульгаторы; используются в качестве смазочно-охлаждающей жидкости при обработке металлов резанием.

5.9. Используемые информационные ресурсы.

<http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-54/13.htm>

<http://slovari.yandex.ru/обработка>

5.9. Список сокращений

СОЖ — смазочно-охлаждающая жидкость

ФХО — физико-химическая обработка

ЭФО — электрофизические методы обработки

ЭХО — электрохимические методы обработки

ЭЛО — электроннолучевая обработка.

СЛО — светолучевая (лазерная) обработка